



Universidad Austral de Chile

Escuela de Ingeniería Civil Industrial
Sede Puerto Montt

PROFESOR PATROCINANTE: Alex Cisterna Castillo
ING. Civil Industrial
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

“Análisis de Penetración de Mercado para la Ordeña Automatizada en el Escenario Chileno Actual y su relación con Proyecciones de Venta y Adopción en Sudamérica”.

Trabajo de Titulación
para optar
al título de **Ingeniero Civil Industrial**

Daniel Rosas Lancapichún

PUERTO MONTT – CHILE
2013

DEDICATORIA

*“A mi querido abuelo y padre.
Porque tu me enseñaste,
que no es grande quien hace sentir pequeño
al prójimo, sino quien los hace sentir
a todos grandes.*

*A mi querida abuela.
Porque tu me enseñaste,
que el amor sincero todo lo puede
y todo lo aúna.*

*A mi querida madre.
Porque tu me enseñaste,
que se debe criticar a los ojos
y elogiar a las espaldas...*

... Porque tú me enseñaste.”

AGRADECIMIENTOS

En el marco de esta investigación, las siguientes personas contribuyeron en mayor o menor forma y están enumeradas sin ningún orden en particular: Olivier Lyskawa, Claudio Julian Dodds, Cristian Muñoz Bernal, Rodrigo Perez Yañez, Andrés Willer, Jerry Claessens, Frank Van Der Staak, Roberto Grunwald Abbolt, Patricio Mansilla, Jannie Bossers, Taeke Gjaltema, Jaco Buitelaar, Paul Borssen, Vladimir Sven, Sean McKeon, Michiel van der Struik, Pablo Rubilar, Pat Farrell y Marco van Veldhuisen.

Agradecimientos a las siguientes empresas por su continuo apoyo y contribución: Frio Master Limitada, Serap Industries, Lely Industries N. V., Atlas Copco Chile y Boetech Automatisering.

Mención honrosa y gratitud especial para con el Alma Máter, la Universidad Austral de Chile, Sede Puerto Montt, la Escuela de Ingeniería Civil Industrial y su cuerpo docente, con quienes tuve el honor de compartir y obtener valiosas experiencias que atesoraré por el resto de mis días.

SUMARIO

En el presente informe de tesis se detallan las especificaciones técnicas de la maquinaria agrícola denominada Robot de Ordeño y de su manejo, denominado Predio Robótico, sus aplicaciones en diferentes casos de uso como lo son el Sistema Estabulado y el Sistema bajo Pastoreo, las condiciones necesarias que deben existir en un predio lechero para que este equipo sea aplicado exitosamente, los requerimientos económicos y las condiciones que Chile y otros países de América Latina ostentaban en cuanto a estabilidad económica y las condiciones de sus plantales animales, siendo puestas éstas bajo análisis crítico, tanto económico como cualitativo de forma tal de determinar si el país es un nicho suficientemente fértil para la apertura del mercado de Ordeña Robotizada. Las motivaciones para invertir en sistemas de esta índole y la razón de su creación también han sido citadas y pormenorizadas.

Índice

1.- Introducción.....	1
2.- Antecedentes Generales.....	3
2.1.- Descripción de la Empresa.....	3
2.1.1.- Frio Master Limitada.....	3
2.1.2.- Lely Industries.....	4
2.2.- Planteamiento del Problema.....	5
2.3.- Objetivos.....	9
2.3.1.- General.....	9
2.3.2.- Específicos.....	9
3.- Marco Teórico.....	10
3.1.- Robot de Ordeño.....	10
3.2.- Especificaciones Técnicas del Robot de Ordeño.....	15
3.2.1.- Unidad Central.....	15
3.2.2.- Unidad Robótica.....	18
3.3.- Sistema Estabulado.....	23
3.4.- Sistema bajo Pastoreo.....	24
4.- Diseño Metodológico.....	29
5.- Presentación y Análisis de Resultados.....	35
5.1.1.- Indicadores Macroeconómicos para Chile.....	35
5.1.2.- Indicadores Macro económicos para otros países Latinoamericanos.....	38
5.2.1.- Manejo de Predio con Sistema de Ordeño Robótico.....	40
5.2.2.- Robot de Ordeño en Sistemas Estabulados.....	44
5.2.2.1.- Dosificación de Concentrado.....	45
5.2.2.2.- Distribución Espacial del Establecimiento.....	46
5.2.2.3.- Lecherías Grandes en Sistemas Estabulados.....	48
5.2.3.- Robot de Ordeño en Sistemas Pastoriles.....	49
5.2.3.1.- Dosificación de Concentrado.....	51
5.2.3.2.- Distribución Espacial del Establecimiento.....	52
5.2.3.3.- Distribución y Ordenamiento de Potreros.....	54
5.2.3.4.- El Caso Irlandés.....	56
Strip Grazing.....	56
Enrutado de las vías animales.....	57
5.2.4.- Análisis de Comparación y Contraste: Sistema de Pastoreo v/s Sistema Estabulado en Ordeña Automatizada.....	58
5.4.1.- Levantamiento de Requerimientos para Productores Chilenos.....	59
5.4.1.1.- Estudio Piloto.....	59
5.4.1.2.- Primer Predio.....	59

Finanzas y Costos.....	60
5.4.1.3.- Segundo Predio.....	61
5.4.2.- Evaluación del estado de las Instalaciones, del plantel animal y de los potreros del predio.....	63
5.4.2.1.- Primer Predio.....	63
Sistema de Estanques Múltiples.....	66
Requerimiento Energético y Generación.....	67
5.4.2.2.- Segundo Predio.....	68
5.5.1.- Generación de Flujos de Caja.....	70
5.5.1.1.- Pormenorizado de Costos.....	70
Construcción de la Edificación.....	70
Instalación y Suministro Energético.....	70
Suministro de Agua.....	70
Aire Comprimido.....	71
Concentrado y Nutrición Animal.....	71
5.5.1.2.- Potenciales Ingresos.....	71
5.5.1.3.- Reducción de Costos, Ahorros y Beneficios.....	72
5.5.1.4.- Rentabilidad y Fluctuaciones de Mercado.....	73
5.5.1.5.- Análisis Financiero de Caso.....	75
5.5.1.6.- Análisis Cualitativo de Caso.....	80
5.5.1.7.- Alternativas de Financiación del Proyecto Robótico.....	82
5.6.1.- Indicadores Operativos y Financieros para la empresa distribuidora en Chile.....	83
5.6.1.1.- Posibles Indicadores de interés para el Agricultor.....	84
5.6.2.- Proyecciones de Venta y expansión del Robot de Ordeño a Nivel Sudamericano.....	85
5.6.2.1.- Argentina.....	85
5.6.2.2.- Brasil.....	86
5.6.2.3.- Colombia.....	86
5.6.2.4.- Perú.....	86
6.- Conclusiones.....	87
7.- Recomendaciones.....	89
8.- Bibliografía.....	90
9.- Linkografía.....	92
10.- Anexos.....	93

Índice de tablas

Tabla 3.1: <i>Caracterización de Productores Lecheros Chilenos</i>	25
Tabla 3.2: <i>Distribución de productores por categorías</i>	26
Tabla 5.1: <i>Programa de Adaptación de Lely en sistemas pastoriles</i>	40
Tabla 5.2: <i>Número de robots requeridos según número de vacas y capacidad nominal con 3 ordeños diarios</i> ..	43
Tabla 5.3: <i>Número de robots requeridos según número de vacas y capacidad nominal con 2,4 ordeños diarios</i>	49
Tabla 5.4: <i>Cuadro Comparativo de Casos de Uso para el Robot de Ordeño</i>	- 58
Tabla 5.5: <i>Detalle de costos utilizados en flujos de caja</i>	75
Tabla 5.6: <i>Flujo de Caja Purista, Escenario Más Probable para Proyecto Robótico</i>	76
Tabla 5.7: <i>Flujo de Caja Purista, Escenario Optimista para Proyecto Robótico</i>	77
Tabla 5.8: <i>Flujo de Caja Purista, Escenario Más Probable para Sala Tradicional</i>	78
Tabla 5.9: <i>Indicadores de Rendimiento de Negocio para Distribuidora</i>	83
Tabla 5.10: <i>Evolución del número de vacas lecheras en Argentina</i>	85

Índice de Anexos

Anexo A.....	93
Anexo B.....	94

1.- Introducción

La industria de producción lechera sufrió un cambio drástico a finales de la década de los 80, en el continente europeo, en donde un creciente vacío por mano de obra motivó a estudiar la automatización del proceso de ordeño y el manejo del predio. La necesidad de automatización se vio cubierta con el lanzamiento del primer Robot de Ordeño comercial el año 1995, desde entonces se consolidó una tendencia al abandono de la mecanización de labores de lechado en favor de la automatización por sus importantes beneficios, entre los que se encuentra una mayor consistencia en la leche, un mayor aporte lácteo por vaca, mejor salud de la ubre, vida útil extendida del rebaño y una hora-hombre más eficiente.

Un sistema de ordeño robotizado automatiza las funciones que una persona a cargo de ordeña debería asumir en una base regular, a saber: Limpieza de la Ubre, Inserción de Pezoneras, Muestreo de Leche, Dispensación de Concentrado entre otros; tareas asociadas al manejo del rebaño también pueden ser abarcadas por el sistema robotizado, por ejemplo la segregación de vacas enfermas en un grupo paralelo al resto del rebaño. La clave para que un sistema de ordeño automatizado funcione es el concentrado que se le dispensa en el interior del box de la maquinaria a la vaca, lo que la incentiva a visitar el robot repetidas veces para recibir más alimento.

Conforme a los rebaños aumentan su volumen, se hace más complejo gestionarlos, sin embargo, la realidad chilena diagnosticada dio reflejo de circunstancias similares a las del escenario Europeo de hace dos décadas: El recurso humano que antiguamente estaba dispuesto a asumir el trabajo de ordeñar y mantener al rebaño está migrando hacia las ciudades en busca de trabajos de otra índole y más ligeros. La empresa líder, fabricante de Unidades Robóticas Lely, detectó esta problemática como una oportunidad y se introdujo en el mercado Chileno ofreciendo su solución en la forma del producto y del servicio de asesoría y mantención. Dado que en Chile, este mercado no había sido abierto con anterioridad, se propuso estudiar las posibilidades reales que tenía esta maquinaria de insertarse exitosamente en el mercado Chileno y Sudamericano.

Con el fin de obtener resultados fiables, se recurrió a fuentes bibliográficas provenientes, tanto de estudios científicos independientes como pruebas realizadas por el fabricante del equipo con el fin de aproximar el rendimiento que este equipo tendría en la aplicación de sus diferentes casos de uso, como lo son el Sistema Estabulado y el Sistema bajo Pastoreo.

El Sistema Estabulado implica que el rebaño completo se encuentra durante toda su etapa de lactancia al interior de un edificio, en este contexto, el robot de ordeño se desempeña sin mayores problemas pues los animales recorren una distancia pequeña para llegar a la estación robótica. Su opuesto es el Sistema

bajo Pastoreo (el más utilizado en Chile) caracterizado por presentar un rebaño que se encuentra la mayor parte de su periodo de lactancia en pradera y, dado que los potreros usualmente se localizan en sectores distantes al punto de ordeño, el incentivo que los animales sienten por ir a ordeñarse se ve mermado, lo que conlleva a un rendimiento diferente de la estación robótica.

Habiendo analizado ambos casos de uso con sus respectivos rendimientos, se realizó un estudio piloto con el fin de conocer el nivel de interés de agricultores locales por adquirir e implementar un sistema de esta índole en sus respectivos predios, esto realizado mediante charlas técnicas con grupos de productores. Dos personas accedieron a abrir sus puertas para realizar mediciones y entregaron la documentación necesaria para ejecutar un levantamiento de requerimientos que se enfocara, tanto en resolver sus necesidades, como en cumplir con las especificaciones indicadas por el fabricante. Ambos predios diferían en número de vacas, superficie y distribución de potrero y acceso a ítemes de suministro.

Posteriormente se realizó una evaluación económica mediante Flujos de Caja con diferentes escenarios: Un Escenario Optimista para un Sistema Robótico, Un Escenario Más Probable para un Sistema Robótico y Un Escenario Más Probable para el Statu Quo (renovar la Sala de Ordeña Tradicional) en sus versiones de Proyecto Puro e Inversionista, con el fin de sopesar si un plantel determinado cumple o no con la solvencia y rendimiento necesarios para costear una Estación Robótica.

Existen algunos imponderables que no quedan fielmente representados en una evaluación económica, razón por la cual también se aplicó un escueto análisis cualitativo de las consecuencias no-económicas de la instauración de un sistema de ordeño automatizado. Finalmente, considerando tanto las consecuencias económicas como no-económicas, se estimaron los beneficios que traería para la empresa distribuidora en territorio Chileno la venta masificada y las posteriores mantenciones de los equipos involucrados.

El análisis anterior fue replicado en su dimensión cualitativa para otros países productores lecheros importantes de la región: Argentina, Perú, Colombia y Brasil; evaluando las condiciones de su economía y el estado de sus planteles mediante el uso de bases de datos fabricadas por las autoridades competentes.

2.- Antecedentes Generales

2.1.- Descripción de la Empresa

El proyecto que se ejecutó poseía dos frentes claramente definidos, uno es la compañía chilena Frio Master Limitada, quien actuó como distribuidor del Robot de Ordeño y ofrecía mantención y servicio técnico y Lely Industries; fabricante del equipo, proveedor de los repuestos necesarios y certificación de las instalaciones y proyectos ejecutados en el territorio chileno.

2.1.1.- Frio Master Limitada

Frio Master Ltda era una empresa de servicio y consultora en obras de refrigeración industrial; con su Casa Matriz asentada en Purranque y fundada en la misma ciudad durante 1986 por su dueño y Gerente General, Claudio Julian Dodds; proveía de servicios de montaje de panelería frigorífica, servicio técnico para equipos de frío y venta, asistencia técnica e instalación de estanques enfriadores de leche.

La firma mantuvo convenios estratégicos con proveedores europeos, a los cuales representó en el mercado Chileno: LU-VE Contardo para equipos de frío y Serap para estanques enfriadores de leche. Otras firmas proveedoras de Frio Master eran algunas como Danfoss, Metecno, Bitzer, Lacmé, Atlas Copco y Bock.

Inicialmente, las actividades productivas de la empresa eran desarrolladas dentro de la Región de Los Lagos, sin embargo, gracias al cierre de los acuerdos estratégicos anteriormente mencionados sumado a una buena relación con clientes, proveedores y propaganda, la empresa logró expandirse y tener presencia en prácticamente el país completo con clientes de los más variados rubros desde La Serena hasta Coyhaique. Desde grandes productores lecheros hasta salas de proceso y packing de productos frutícolas. Entre sus clientes más reputados y notables se encontraban Watt's, Nestlé, Soprole, Colún, Agrícola Santa Carmen, Agrícola Giddings, Sun Belle Berries, Frigosor y Mafrisur entre otros.

Esta empresa chilena aumentó su nivel de especificidad en sus diferentes nichos y áreas de acción, convirtiendo sus diferentes departamentos en empresas subsidiarias de Frio Master. Se crearon las empresas Hielo Master, encargada de la Producción y Venta de Hielo en Escamas, Transtek (empresa de transporte), Agrícola Pehuenche (producción de ensilaje), Frigorífico Los Lagos (bodega frigorífica con sistema de almacenamiento por racks) y Montajes Técnicos FM (técnicos paneleros y fabricantes de puertas frigoríficas) con sus propios giros y personal asignado. Esta tendencia continuó consolidándose con la creación de una nueva división dedicada a la comercialización, puesta en marcha y mantención de sistemas de ordeño automatizado en predios lecheros en el sur del país.

2.1.2.- Lely Industries

Lely Industries, era una compañía de origen holandés, fundada el año 1948 por los hermanos Cornelis y Arij van der Lely, con un fuerte enfoque a la investigación y desarrollo, lograron ser los primeros en desarrollar y comercializar exitosamente maquinaria agrícola pesada con cilindros hidráulicos (gradas rotativas, herramientas de arado para tractores, entre otros). En su permanente afán de ser pioneros y líderes en agricultura, la compañía se aventuró en la automatización de las salas de ordeño, para lo cual desarrollan prototipos robóticos a finales de la década del 80. El primer robot fue desarrollado por la compañía en el llamado Proyecto Astronaut. Dicha primera unidad vio la luz el año 1992 y fue lanzada al público general el año 1995 (Lely Astronaut A2). Desde ese año, la unidad robótica ha sufrido 3 actualizaciones críticas: Lely Astronaut A3 lanzado el año 2004 (alteración significativa al brazo del robot y mejoramiento sustancial del sistema de pulsación), Lely Astronaut A3 Next, lanzado el 2008 (introducción de sensores en la línea de leche por cada cuarto, sistema apodado MQC II) y la versión actual, el Lely Astronaut A4, liberado al mercado el año 2010.

En el año 2013, la compañía era liderada por Alexander van der Lely, uno de los hijos de Cornelis. La organización de la empresa emanaba desde Lely Industries a organizaciones de menor tamaño llamadas Lely Centers, que son franquicias de Lely Industries, las que se encargan de vender productos, repuestos y soporte a los predios lecheros locales. En otros países, como Nueva Zelanda, Noruega y Chile, Lely ofrece sus productos a través de otras firmas a través de contratos de distribución y soporte, para ofrecer al nicho específico, lo que un Lely Center tiene en su espectro de acción.

Lely en su conjunto tenía presencia en más de 60 países y disponía de aproximadamente 1200 empleados, su nivel de facturación al año 2007 fue de €273 millones. Su competidor directo más fuerte era la firma sueca DeLaval en el área de robótica para la ordeña; otras firmas competidoras involucran a GEA, Boumatic y Fullwood.

Además de ser los primeros en diseñar un robot de ordeño, Lely era líder en esa área con más de 18 mil robots operando al año 2013, acumulando más del 60 por ciento de la participación de mercado mundial en automatización de salas lecheras y poseer todos los componentes clave de la unidad robótica patentados y en su haber, lo que constituyó la mayor motivación del estudiante redactor para analizar estrictamente este tipo de equipo robótico y no otros.

En Febrero de 2013, Lely sondeó el mercado chileno para la ordeña robótica, evaluando factores como número total de productores lecheros, el nivel de entrega de leche anual por predio, el tamaño del rebaño y el estado de las instalaciones de los productores. Habiendo pasado la prueba crítica a nivel país, se realizó una consulta por 7 empresas para cerrar un acuerdo de distribución para el territorio chileno.

2.2.- Planteamiento del Problema

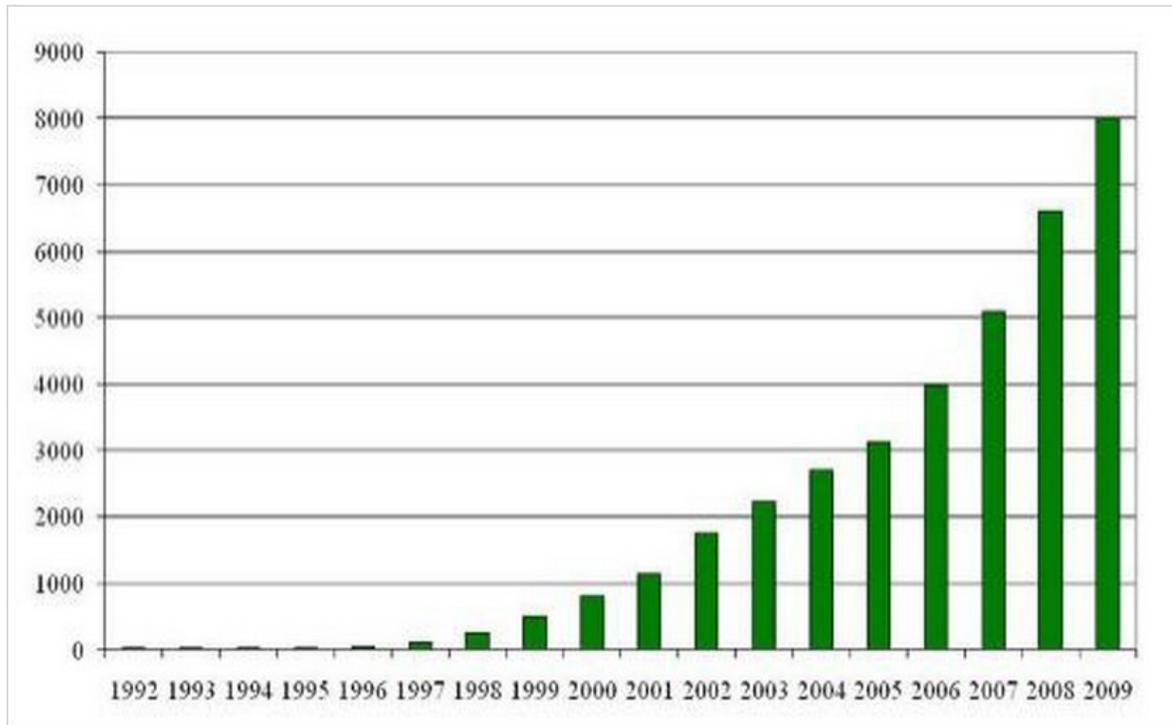
La necesidad de automatizar las labores de ordeña tiene tres motivaciones núcleo¹:

1. Reenfoque de la Mano de Obra: Principal motivación de los productores lecheros cuando adquieren una unidad robótica. Al no requerir trabajos manuales ni supervisión directa en la labor de lechado, la Mano de Obra requerida (en términos de horas-hombre) incrementa explosivamente su eficiencia, requiriendo muchas menos horas para realizar las mismas tareas, permitiendo destinar el recurso humano a tareas de menor impacto o bien, reduciéndola. La eficiencia de un sistema de ordeño automatizado es tal que incluso permite a los agricultores salir de su campo y tener tiempo de esparcimiento o inclusive retirarse de la actividad, pues la necesidad de estar presente en la labor de ordeño ya no existe; el sistema robótico se encuentra operando de forma permanente y solo se requieren mantenciones periódicas preventivas, a menudo realizadas por técnicos calificados por el fabricante.
2. Control del Rebaño: En salas tradicionales el control por vaca (más aún por cuarto) de forma manual era una tarea difícil de ejecutar, consumía mucho tiempo y usualmente los resultados poseían un alto porcentaje de error. Una de las grandes ventajas era que la unidad robótica disponía de sensores electrónicos por cada cuarto (pezón) que monitoreaban de forma permanente muchos factores que daban cuenta de la salud de la vaca y su historial de aporte lechero en una base de datos centralizada y de fácil manejo con un porcentaje de error asumible y aterrizado.
3. Aumento en el volumen y calidad de la producción: Íntimamente ligado al punto anterior. Al existir un control en tiempo real del rebaño, fue posible anticipar enfermedades y controlar el estado nutricional del grupo, otorgando una posibilidad de incremento de producción y calidad mediante gestión de la información resumida y consolidada por el sistema informático del robot.

La motivación proveniente de los beneficios recién descritos se transformó en una necesidad en países desarrollados durante la segunda mitad de la década de los 90. La mano de obra comenzó a escasear, la normativa alimentaria para la producción láctea se volvió más rígida y exigente y en la medida en que los rebaños crecían, más difícil se hacía gestionarlos. El nivel de adopción de sistemas de ordeño robóticos a finales del año 2003 (mucho antes de la existencia del robot de ordeño A4) era el siguiente.

¹Hogeveen, H et al. Motivations of Dutch farmers to invest in an Automatic Milking System or a conventional milking parlour. 2004, Utrecht University.

Gráfico 1.1: Número de granjas utilizando un sistema de ordeño automatizado a finales del año 2009.

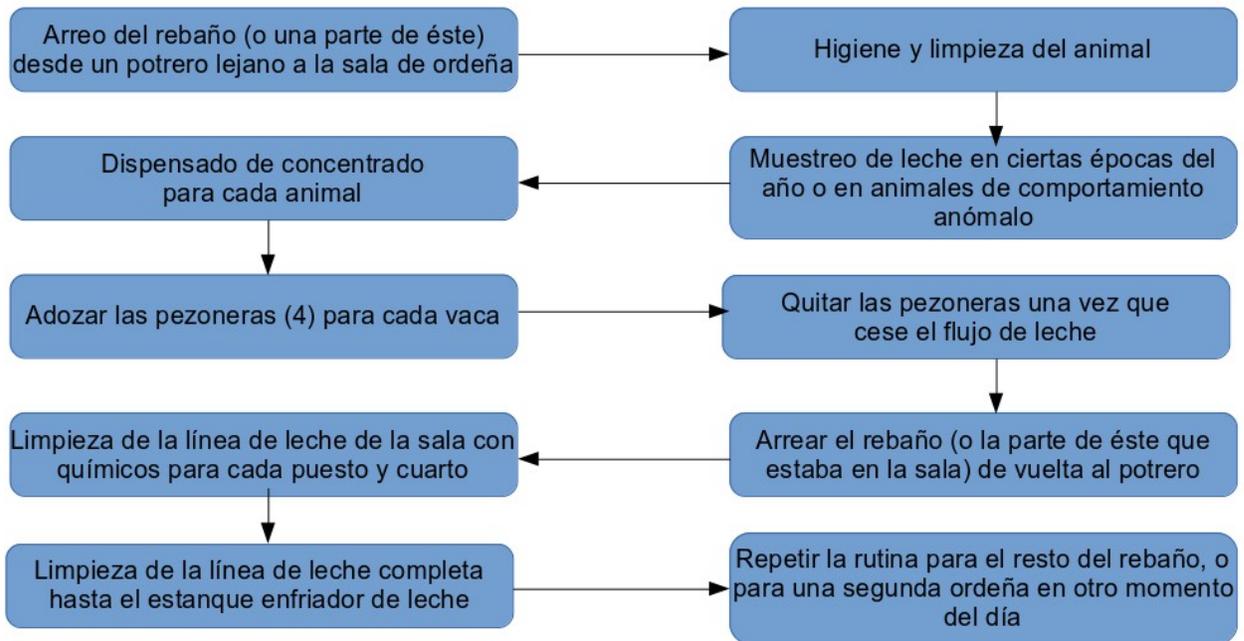


Fuente: MilkProduction.com: Automatic Milking - Common practice on dairy farms (2011)

Dicha tendencia se fue consolidando con los subsecuentes lanzamientos de nuevas y mejoradas versiones del robot de ordeño y con la llegada de esta metáfora de lechado a nuevos y emergentes mercados.

En países en vías de desarrollo, una realidad similar comenzaba a vislumbrarse: Existían predios lecheros que requieren cuatro o más personas para operar y el productor lechero se ve en la obligación de trabajar y ejecutar algunas tareas que implican trabajo pesado por sí solos, debido a que ya no existe gente dispuesta a hacer el trabajo, es decir, responde a un problema de calidad de vida, pues la rutina bajo un Sistema Pastoril involucra un flujo de trabajo como el siguiente.

Figura 1.1: Rutina de eventos en lecherías tradicionales



Fuente: Elaboración Propia

En Chile, los productores lecheros seguían, en su mayoría, una rutina similar a ésta comenzando a las 4 a.m. y finalizando a las 8 p.m. los siete días a la semana, y tal como se ha relatado, cada vez menos gente estuvo dispuesta a asumir un trabajo con estas condiciones laborales, sin importar el nivel de sueldo que el productor le ofreciese; el recurso humano migró a las ciudades, frecuentemente aceptando realizar trabajos con menor salario, pero con una rutina mucho menos desgastante y con una posibilidad de descanso prolongado y más tiempo libre. A la fecha, la única alternativa que daba solución a las necesidades de un predio lechero es la automatización del proceso .

Los sistemas robóticos han estado comercialmente disponibles por casi 20 años y su desarrollo roza con los 25. Su efectividad ya ha sido exitosamente probada en países desarrollados como Canadá, Estados Unidos, Turquía, Nueva Zelanda, Australia, Federación Rusa y todo el continente Europeo. En el pasado, estos equipos no han sido introducidos ni probados en Latinoamérica debido a las siguientes razones:

1. Inestabilidad política y/o económica.
2. Escepticismo de los productores por la aplicabilidad del modelo robótico a un Sistema bajo Pastoreo.
3. Abundancia de recurso humano de bajo costo.
4. Suministro de energía eléctrica inestable.

La mayor parte de las dudas de los productores locales se fue disipando en la medida en que el sistema robótico fue progresando y se fue instaurando en más países de forma exitosa; y pese a que estos equipos tienen una efectividad probada y conocida, aún es un misterio qué consecuencias económicas, financieras, legislativas, sociales y ambientales tendría una adopción masiva de esta maquinaria por parte de agricultores chilenos.

En respuesta a lo dicho en párrafos anteriores, la investigación propuesta se enfocó en caracterizar las alteraciones, beneficios, desventajas y consecuencias, tanto económicas como no-económicas, que traería para el mercado lácteo nacional el cambio del modelo de sala de ordeña tradicional. Extrapolando el modelo de forma general y cualitativa para los países de América del Sur.

2.3.- Objetivos

2.3.1.- General

Proyectar el crecimiento del mercado de ordeño robótico en América del Sur, con énfasis en el impacto económico de la introducción de dicho sistema de ordeño automatizado en Chile a través de un estudio técnico-económico para evaluar el potencial de la instauración del robot de ordeño, valuando las consecuencias no económicas en un predio lechero.

2.3.2.- Específicos

1. Examinar el contexto y condiciones de mercado actuales de América del Sur.
2. Describir los cambios conductuales y el proceso de adaptación del animal al Robot de Ordeño en un Modelo Pastoril similar al de Chile y Sudamérica.
3. Realizar un estudio de las capacidades operativas del Robot de Ordeño aplicado a Sistemas bajo Pastoreo similares al Chileno
4. Formular requerimientos técnicos y económicos que un plantel debe cumplir para adoptar el Robot de Ordeño en Chile.
5. Contrastar, en términos de ingresos y egresos mediante un análisis incremental, la performance de una Sala Robótica versus una Sala Tradicional.
6. Generar indicadores económicos que denoten el potencial beneficio de la utilización de un Robot por parte de un productor lechero.

3.- Marco Teórico

“Un Sistema de Ordeña Automático dice relación con un sistema que automatiza todas las funciones de un proceso de lechado y manejo vacuno asumidas en una ordeña tradicional mediante una mezcla entre acciones manuales y máquinas.”²

En contraste con la ordeña tradicional, donde existen humanos que llevan a las vacas para ser lechadas en ciertos puntos del día, el lechado automatizado enfatiza en la motivación de la vaca para ser ordeñada en un sistema de “auto-servicio” varias veces al día por un sistema robótico sin supervisión humana directa. Dicha motivación radica en que cada vez que el animal visita la unidad robótica, se le dispensa una cantidad precalculada de concentrado altamente nutritivo y calórico que la vaca disfruta. La unidad robótica debe convertirse en un equivalente de ojos, oídos y manos del ordeñador.

3.1.- Robot de Ordeño

La unidad robótica es el centro de una sala automatizada de ordeño. Este equipo es el que se encarga de alimentar, ordeñar y monitorear la salud de la vaca y del rebaño. También se examina la cantidad y calidad de la leche en cada ordeña y, de ser necesario, la separa si presenta algún tipo de contaminación o no cumple con los estándares del resto del rebaño. Cada vaca es equipada con un collar transmisor que le permite al sistema robótico identificar al animal con un número único, dicho identificador le permite al software del robot mantener una base de datos para cada vaca; la unidad robótica utiliza esta identificación para gestionar el lechado y alimentación del vacuno cuando ingresa al robot.

Todo sistema robótico consta de cinco partes principales (esenciales):

1. El robot de ordeño (uno o más)
2. Tanque enfriador de leche
3. Software de gestión del rebaño (a menudo corre sobre un computador de escritorio doméstico)
4. Puerta de selección (una o más, para segregar a los animales en grupos)
5. Compresor de aire.

La unidad robótica propiamente tal, consta de dos partes claramente distinguidas: Un gabinete (llamado Unidad Central) que suministra corriente eléctrica, agua, soluciones químicas para lavado, regula el aire presurizado y controla el nivel de vacío para el proceso de lechado; y una o dos Unidades Robóticas por cada Unidad Central, que es donde las vacas son ordeñadas.

² De Koning, K y Rodenburg, J. 2004. Automatic Milking: State of Art in Europe and North America. Applied Research, Animal Sciences Group.

Figura 3.1: Unidad robótica (izq.) y Unidad central (der.)



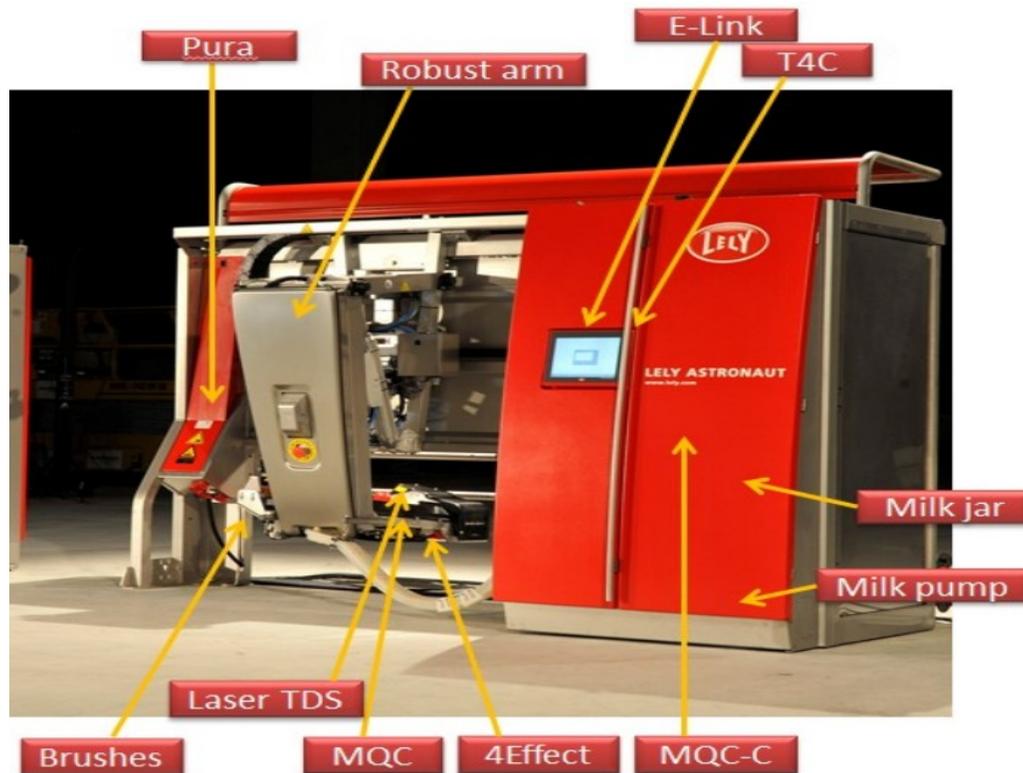
Fuente: Lely Astronaut A4 - Catálogo Oficial

El Sistema de Ordeño Automatizado posee tres interfaces de control:

- Computador Empotrado: Pantalla táctil empotrada en la Unidad Robótica desde donde se puede operar al robot.
- Sistema de sincronización de lavado: Tablero electrónico que controla y monitorea el lavado y el sistema de alarmas desde todos los robots de ordeño conectados.
- Software de Gestión del Rebaño: Control y Gestión de la granja que controla el sistema de lechado y el hardware conexo desde un computador de escritorio o portátil.

Inicialmente las unidades robóticas deben ser operadas utilizando el Computador Empotrado, pues, al realizar la puesta en marcha y ejecutar el primer ordeño, no existen coordenadas en las bases de datos que el brazo robótico pueda utilizar para realizar la rutina de inserción de las pezoneras o una tabla de alimentación histórica.

Figura 3.2: Rotulado del robot por el lado del operador



Fuente: Lely Astronaut A4 – Manual de Producto

Si se analiza más en detalle la unidad robótica, se tienen los siguientes elementos relevantes (que pueden ser vistos en la Figura anterior):

- Brazo: Utiliza cilindros neumáticos para realizar los movimientos de ajuste pertinentes para la correcta inserción de las pezoneras para cada vaca.
- E-Link + T4C: Pantalla táctil empotrada desde donde se opera el robot y donde también puede verse el cuadro de mando del rebaño.
- Unidad de Vapor PURA: Después de cada lechado, las pezoneras son esterilizadas con vapor presurizado a 150°C.
- Cepillos: Se utilizan para limpiar la ubre antes del lechado y para estimular a la vaca.
- Laser Teat Detection System (TDS): Para realizar una correcta inserción de las pezoneras, se utiliza un láser que ejecuta un programa iterativo que luego le da las instrucciones pertinentes al brazo robótico.
- Pezoneras y Pulsadores: Mangas de pulsación que van insertas al interior de las pezoneras cuya apertura y cierre se asemeja a un movimiento peristáltico. Ayuda a controlar el vacío y se asemeja a un ternero mamando de la ubre. Las pezoneras son capaces de caer automáticamente cuando...

do no exista más flujo de leche, de forma tal que no se sobreordeñe ni subordeñe ningún cuarto.

- MQC y MQC-C: Sensores electrónicos que detectan un grupo de variables, tales como el nivel de conductividad, color de la leche, relación grasa/proteína, índice de lactosa, flujo y temperatura.
- Jarrón de leche: Una especie de vaso en donde la leche de la vaca llega en primera instancia. Tiene una capacidad de 40 litros y mide la cantidad de leche por peso mediante una celda de carga.
- Bomba de leche: Bomba neumática de aire comprimido que expulsa la leche desde el Jarrón hacia la red de válvulas que configura la red de salida hacia la línea del estanque o a desagüe.

En el lado del animal, la vista se asemeja a la siguiente figura.

Figura 3.3: Rotulado del robot por el lado del animal



Fuente: Lely Astronaut A4 – Manual de Producto

Los elementos que pueden ser vistos en la Figura anterior son:

- **Detector de Rumia y Celo:** Cada vaca porta un collar que registra su temperatura corporal, nivel de actividad y minutos de ingestión de pasto o ensilaje (Actividad Ruminal o Rumia). Dentro de la unidad robótica, un detector recolecta los datos de forma inalámbrica y los envía a la base de datos del computador. En base a anomalías es posible detectar enfermedades o celo de forma temprana.
- **Comedero corredizo:** El comedero en donde el concentrado se dispensa está adosado a la puerta de salida, se retira hacia el gabinete interior una vez que el animal ha consumido todo el alimento.
- **Suelo con celda de carga:** El suelo es capaz de pesar a la vaca y enviar los datos al computador central.
- **Cercos de entrada y salida:** El animal entra caminando hacia el frente y sale de la misma forma. En otras unidades robóticas el animal debe entrar por el costado.
- **Cámara 3D:** Utilizada para monitorear los movimientos del animal al interior de la unidad robótica, también ayuda a corregir la posición horizontal del brazo y a lograr una inserción más rápida de las pezoneras.

Este modelo de unidad robótica se caracteriza por el acceso posterior al box de ordeño, y el abandono por la parte frontal (puerta corrediza con comedero). Al no tener que ejecutar curvas o movimientos finos, el tiempo de ordeño se ve reducido en un 4 por ciento diario para cada unidad robótica, lo que implica un ordeño extra por robot.

3.2.- Especificaciones Técnicas del Robot de Ordeño

El robot de ordeño analizado se caracteriza por poseer dos unidades separadas: La Unidad Central y la Unidad Robótica, la Unidad Robótica es abastecida de electricidad, agua, soluciones químicas, aire comprimido y vacío desde la Unidad Central, la que a su vez, transmite datos a un servidor de base de datos (el computador de escritorio del agricultor) mediante una conexión ethernet .

3.2.1.- Unidad Central

La Unidad Central es un gabinete que aloja un tablero de tensión trifásica (400 Volt de corriente alterna a 50 Hertz), un circuito integrado en una placa litográfica (Printed Card Board o PCB por sus sigla inglesa) de baja tensión (24 Volt de corriente directa), un switch de conexión ethernet para transmitir datos, un conector de red industrial CAN-bus, una bomba de vacío con motor eléctrico y su estanque amortiguador, tres bombas neumáticas de químicos para realizar lavados locales y de la línea de leche completa (un peróxido, una solución de ácido concentrada y una solución alcalina concentrada), un calderín, un amortiguador de presión de aire, reguladores de presión y otro hardware más pequeño. El aire debe ser suministrado por un compresor de aire de una empresa externa. Dicho aire comprimido debe oscilar en las 7 bar y debe ser libre de aceite. Se privilegian compresores de tornillo.

Figura 3.4: Medidas, peso y aspecto de la Unidad Central



Fuente: Lely Astronaut A4 – Manual de Producto

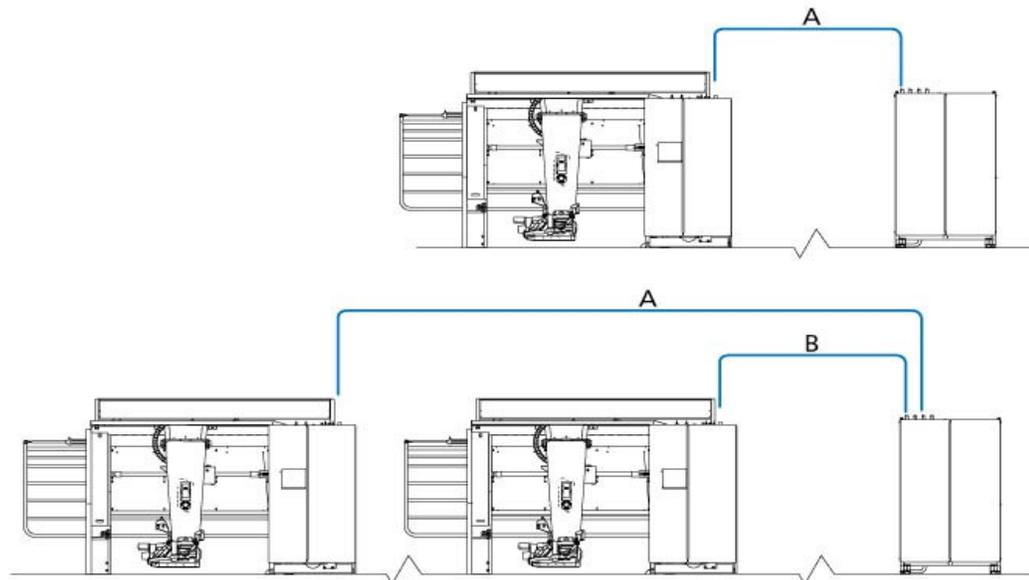
La Unidad Central, en sí misma, no realiza ninguna tarea de lechado de forma directa, sino que suministra los elementos que la Unidad Robótica requiere para funcionar, además de transmitir datos al servidor central (computador con el Software de Gestión de Rebaño) y de enviar alarmas al Tablero de Alarmas, el que realiza llamadas telefónicas de advertencia al teléfono celular del dueño.

La comunicación entre los diferentes dispositivos en la unidad robótica se realiza mediante la conexión de datos industrial CAN-bus a través de los PCB, los que posteriormente son traducidos a protocolo TCP/IP versión 4 para que el computador personal del agricultor pueda leerlos y hacer uso de ellos; de esto se desprende que tanto las Unidades Robóticas, como las Unidades Centrales y el Tablero de Alarmas poseen direcciones IP y una dirección específica del fabricante llamada LDN (Lely Device Network) con los cuales es posible verificar conectividad y realizar tareas de mantención y actualización de software de forma remota.

Cada Unidad Central puede abastecer a dos unidades robóticas simultáneamente; en modelos anteriores, las unidades robóticas se autoabastecían pues todos los elementos y equipos se encontraban dentro del robot. El enfoque actual es más eficiente desde el punto de vista energético, pues con un solo calderín, bomba de vacío y conexión de agua pueden abastecerse dos unidades robóticas.

La distancia entre la Unidad Central y la(s) Unidad(es) Robótica(s) impacta negativamente en la eficiencia del consumo energético y de agua; a mayor distancia, el nivel de vacío y la presión de aire y agua se va perdiendo en su viaje a través de las diferentes líneas y tubos. La longitud máxima de las conexiones de abastecimiento que la Unidad Central puede manejar de forma eficiente es de 30 metros para una Unidad Robótica.

Figura 3.5: Longitud Máxima para una U. Robótica es 30 m (A); Longitud Máxima para dos U. Robóticas es 30 m combinados (A+B)



Fuente: Lely Astronaut A4 – Manual de Servicio (2013)

La Unidad Central debe estar ubicada en un espacio limpio al que las vacas no tengan acceso, pues además de contener los ingredientes para el lavado del sistema (agua hirviendo en el calderín y químicos peligrosos), los tableros de poder centrales están al interior del gabinete y podrían fatigarse o sufrir corto circuito si existen perturbaciones externas causadas por animales. Se aconseja utilizar una sala separada dedicada a la Unidad Central, aunque también es posible y viable localizarla junto al robot en el lado del operador. El suministro eléctrico tiene conexión a tierra mediante el enchufe trifásico de cinco pines (uno para cada una de las tres fases de 230 Volt, uno para el Neutro y el Pin de Aterrizado).

Para una sala en Sistema de Pastoreo, se tendrán, a lo sumo, ocho robots, es decir, cuatro unidades centrales. Todas las unidades centrales pueden ser localizadas en la misma habitación dependiendo de las condiciones existentes. Caso contrario al Sistema Estabulado en donde pueden existir más de 60 Unidades Robóticas en un mismo cobertizo, donde se hace necesario crear grupos, subgrupos y clústeres para manejar el sistema.

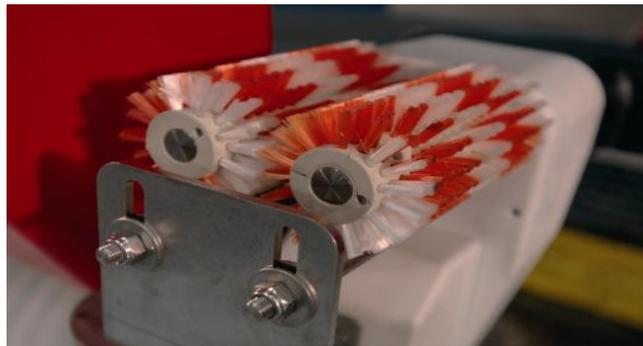
3.2.2.- Unidad Robótica

La Unidad Robótica se ocupa directamente de la ordeña del rebaño, así como de la identificación del animal, la limpieza de la ubre, el muestreo de leche, evaluación de parámetros lácteos y curación de los pezones en la ubre. El lechado es realizado mediante pezoneras con manga interna de goma o silicona que trabaja con el vacío proveniente de la bomba en la Unidad Central a 44 kPa. Cuando la leche fluye, dicho vacío se reduce a un rango que oscila entre los 36 y 40 kPa.

Los movimientos del brazo robótico son controlados por dos PCB especiales que se comunican en una red CAN-bus con otros dispositivos para localizar de forma correcta la ubre para realizar la inserción apropiada y dar un tratamiento efectivo. Los movimientos verticales son realizados por tres cilindros neumáticos, de los cuales dos trabajan a 6,2 bar de presión y uno sirve como amortiguador recibiendo aire atmosférico a través de un filtro silenciador. Los movimientos que los cilindros realizan son coordinados por los PCB que reciben instrucciones de la Cámara 3D que monitorea la posición de la vaca en la jaula del robot (ajusta la posición del servomotor), y del sistema láser que localiza los pezones de la ubre. Estos datos son enviados a electroválvulas neumáticas que abren o cierran el paso del aire presurizado en la parte baja del pistón del cilindro. Los movimientos horizontales son ejecutados por un servomotor de baja potencia que desplaza el brazo en el eje horizontal mediante un cinturón dentado.

Antes de comenzar con la secuencia de lechado, el robot despliega un par de cepillos cilíndricos que limpian cada pezón para evitar que impurezas como sudor, pelo suelto o estiércol entren a la línea de leche, además de combatir infecciones y provocar la liberación de oxitocina en el torrente sanguíneo del animal, hormona que relaja a la vaca y la predispone a ser lechada.

Figura 3.6: Cepillos cilíndricos



Fuente: Lely Astronaut A4 – Manual de Producto

Una vez que el cepillado de la ubre está completo, se le da poder al sistema láser, el que comienza una rutina iterativa que compara la distancia entre la ubre, el pezón y la pezonera. Se escanea un área de 40 x 6 cm a una razón de 8 veces por segundo. Dado que este programa iterativo realiza un escaneo en tres dimensiones, es posible lograr una inserción correcta de las cuatro pezoneras en 1 minuto con 13 segundos promedio desde que la vaca ingresa al box del robot.

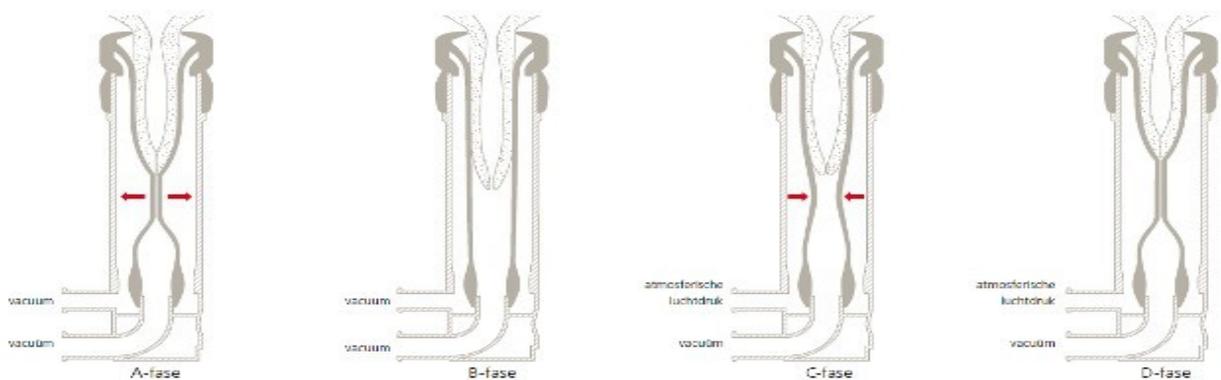
Figura 3.7: Láser localizando pezón y pezonera



Fuente: Lely Astronaut A4 – Manual de Producto

Una vez que las pezoneras han sido apropiadamente insertadas, el sistema de pulsación comienza a alternar el vacío proveniente de la Unidad Central en cuatro etapas (apertura parcial, apertura total, cierre parcial y cierre total, A-B-C-D respectivamente) con el fin de no herir los tejidos de la ubre ni afectar la calidad resultante de la leche por sobreordeña.

Figura 3.8: Fases (A-B-C-D) de la manga de pulsación en las pezoneras

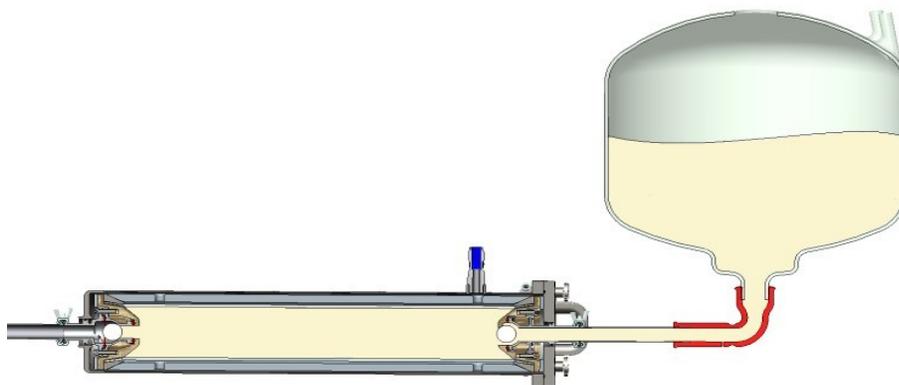


Fuente: Lely Astronaut A4 – Catálogo de Producto

Los primeros mililitros de leche que son extraídos pasan por un dispositivo de Prelechado que separa el primer chorro del resto del volumen lácteo, pues las Células Somáticas se aglomeran en la parte baja de la ubre y pezones y es necesario descartarla. Cuando el dispositivo de prelechado se cierra, la leche pasa por el detector electrónico de la leche, llamado Control de Calidad Lácteo (o MQC por sus siglas inglesas). Este dispositivo mide el flujo, conductividad, temperatura, sonido, velocidad, grasa, proteína, lactosa y tres colores (verde, azul y rojo) con el fin de parametrizar la calidad de la leche por cuarto y por vaca, además de asegurar que leche contaminada o de parámetros anómalos se combine con el producto que ya se encuentra en el estanque enfriador. Todos estos datos son consolidados de forma automática por el Software de Gestión de Rebaño y enviados de vuelta a la Unidad Robótica para que ésta separe al animal a un área especial (si existe) para que sea tratada en caso de enfermedad presentarse algún parámetro extraño.

El aporte lácteo es medido por el Vaso mediante una celda de carga que mide la masa de leche por ordeña y por vaca. Nuevamente, estos datos son enviados al computador central en donde se encuentra la base de datos del rebaño, para posteriormente, ejercer alguna acción respecto de dicho aporte como cambiar de potrero al animal o alterar la cantidad de concentrado que se le dispensa.

Figura 3.9: Conexión entre el Vaso y la Bomba de Leche.

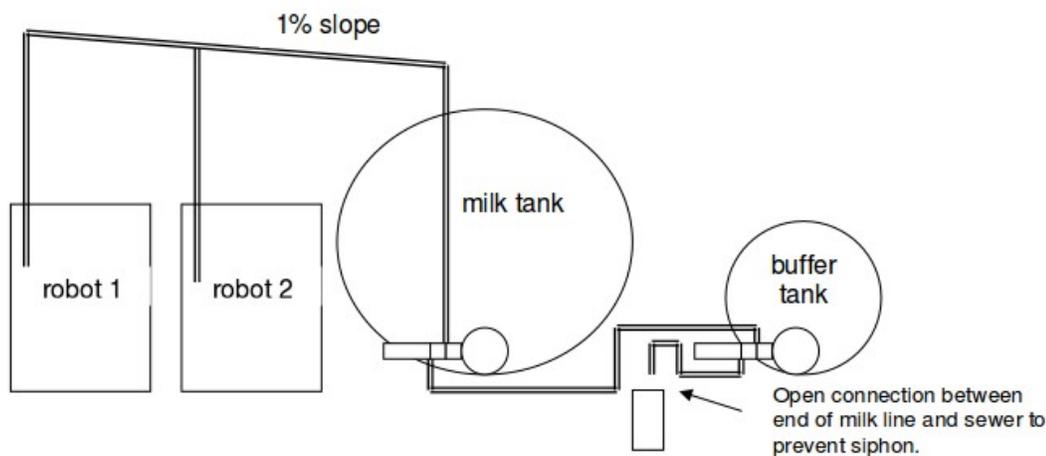


Fuente: Lely Astronaut A4 – Manual de Producto.

Una vez que el bloque de Control de Calidad Lácteo ha enviado los datos al Computador Central y éste considera los parámetros como aceptables, la leche es extraída del Vaso mediante una bomba de leche neumática fabricada en silicona (flexible) que expulsa la leche alternando aire comprimido y vacío en la manga, previniendo a la vez que la leche regrese por la línea gracias a dos válvulas de retención esféricas. Luego el flujo pasa por un sistema de válvulas de tres vías hacia la línea principal de leche que conduce al tanque enfriador. Se recomienda que dicha línea de leche esté fabricada en acero inoxidable, aunque es posible también utilizar un tubo de silicona rígida. La extensión máxima de la línea de leche puede alcanzar los 100 metros de largo y, para asegurar que el producto llegue íntegro hasta el tanque, se le debe dar una pendiente de un uno por ciento.

En algunos países, la regulación castiga al productor con un precio de venta más bajo si la leche posee un índice de Ácidos Grasos Libres muy alto (indicador de daño mecánico en la leche). El fabricante aconseja que el tanque enfriador debe ser llenado por la válvula de tres vías que se ubica en la parte inferior frontal del estanque cuando éste es horizontal, y por la válvula de retención de tres vías del fondo cuando es un estanque vertical tipo Silo.

Figura 3.10: Ejemplo de línea de leche con tanque amortiguador opcional.



Fuente: Lely Astronaut A2 – Manual de Servicio.

Cada línea de leche puede estar conectada a tres unidades robóticas. En lecherías grandes con más unidades robóticas es necesario instalar líneas de leche paralelas para evitar dañar el producto por un potencial exceso de presión en la línea en caso que varias unidades robóticas se encuentren bombeando leche al mismo tiempo. Dichas líneas de leche pueden ser conectadas en un punto cercano al estanque predial con dispositivos como Piezas T o Piezas Y.

En condiciones de operación exigentes (Rutina de Lavado de Línea Lechera con larga extensión), dos Unidades Robóticas más una Unidad Central consumen, en conjunto, 7 kWh y 16 Amperes. A este gasto energético se le debe sumar la energía que el Compresor de Aire utiliza dependiendo de la cantidad de veces que inicie y el tiempo que esté en operación.

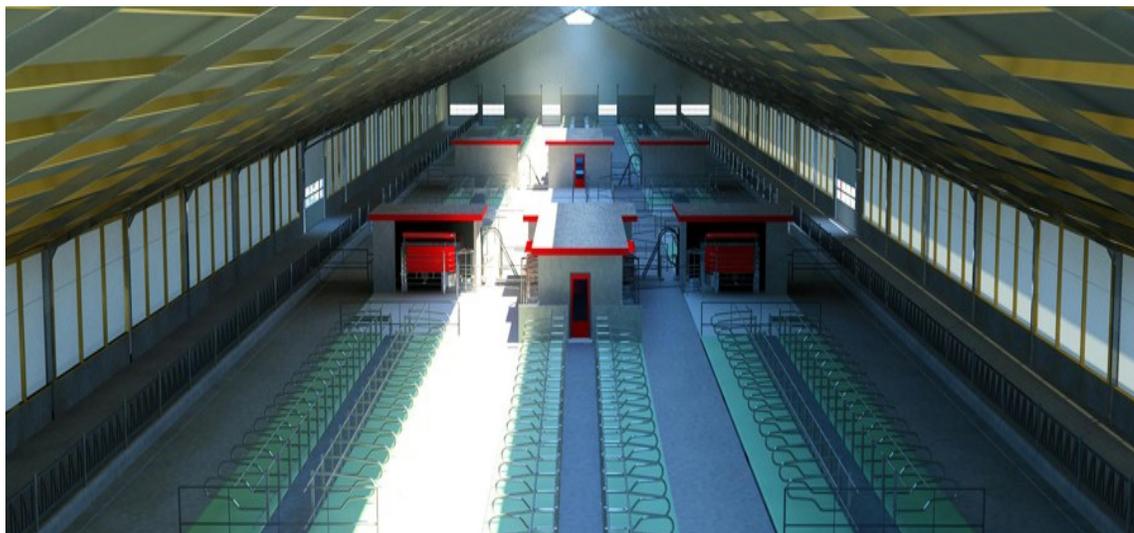
Demás parámetros relacionados con la vaca tales como el Índice de Actividad Ruminal, Temperatura Corporal y Nivel de Actividad son medidos por diferentes detectores insertos en el collar de identificación de cada animal. Dichos datos son descargados en la base de datos central cuando la vaca visita el robot o una puerta de segregación. Los detectores son energizados por una batería que tiene una duración de diez años, en el eventual caso que la batería sufra una descompostura o se agote, en el momento en que la vaca visite la estación robótica, el dispositivo dejará salir al animal y arrojará una alarma al Tablero de Alarma y Lavado, que posteriormente advertirá al agricultor mediante una llamada telefónica advirtiéndole que el robot no fue capaz de identificar al animal.

Los Sistemas de Ordeña se clasifican en dos casos de uso: Sistemas Estabulados (Free-Stall System en inglés) y Sistemas bajo Pastoreo (Pasture System o Grazing System en inglés).

3.3.- Sistema Estabulado

Los sistemas estabulados constituyen el caso de uso más extendido del robot de ordeño. En este sistema, el rebaño completo está la mayor parte del periodo de lactancia confinado en un espacio relativamente pequeño (Establo) en donde los animales consumen ensilaje seco y fabricado a medida con diferentes ingredientes. La configuración usual de estas construcciones consta de filas de puestos individuales para cada vaca, calles para que éstas circulen, un sistema de puertas y cercos para separar un grupo de vacas de otro, callejones en donde se deja ensilaje para alimentar a los animales y la estación de ordeño en donde las vacas son ordeñadas. Los intervalos de ordeña en este tipo de sistemas es bajo (menor a 12 horas), lo que mantiene la ubre del animal saludable y un aporte lácteo estable y consistente en el tiempo, sin embargo, pese a tener un impacto positivo en el aporte lácteo, la salud del animal se ve perjudicada pues el concreto de los establos suele ser muy abrasivo e hiriente. El cuerpo de los animales está diseñado para estar en pradera.

Figura 3.11: Maqueta virtual de un establo con unidades robóticas (4)



Fuente: Lely Industries – Sitio Oficial

Los sistemas estabulados presentaban en su mayoría vacas cuya genética las propensa a ser de mayor tamaño, siendo la vaca Holstein Frisona la raza más utilizada por los agricultores en este tipo de sistema, cuya respuesta era más eficiente (en términos de aporte lácteo) cuando se utiliza ensilaje y mayor suplementación; además, por su tamaño, poseen un apetito intrínsecamente mayor que especies genéticas más pequeñas.

3.4.- Sistema bajo Pastoreo

El Sistema bajo Pastoreo era un enfoque más extendido en países como Nueva Zelanda, Australia, Irlanda, Escocia y la mayoría de América Latina, en el cual el rebaño se encuentra la mayor parte del tiempo de lactancia en una pradera (a menudo denominada Potrero) ingiriendo pasto fresco directamente desde el suelo natural. El rebaño es guiado hacia la sala de ordeña en donde las vacas son lechadas y a su vez se realizan otras tareas en común con un sistema estabulado como limpieza del animal, muestreo de leche o tratamiento veterinario.

Por su diseño, los Sistemas bajo Pastoreo revistieron una complejidad inherente mayor en la aplicación de un sistema robótico, pues su correcto funcionamiento radica en la motivación del animal a consumir el concentrado que se le dispensa en el robot; esta motivación se veía mermada en la medida en que el animal debía caminar y desplazarse mayores distancias para asistir a ordeñarse. Además, también se requiere de una red de cercos y puertas de segregación más compleja que en un Sistema Estabulado.

La introducción del robot de ordeño en Sistemas bajo Pastoreo tomó más tiempo porque existían más problemas que requerían solucionarse antes de comenzar a ofrecer el producto con una promesa de rendimiento predecible y sustentable. El primer proyecto de lechería bajo Sistema de Pastoreo vio la luz el año 2002 en Nueva Zelanda, y uno de los mayores escollos era el de lograr que el animal visitase el punto de ordeña más seguido, pues si una vaca no se ordeña en intervalos 16 horas como máximo, se reduce el aporte de leche, su calidad y la salud de la ubre se deteriora. La especie de vaca más vista en los predios pastoriles alrededor del mundo era la Jersey pura, y cruzada con genética Kiwi. Muchos agricultores también elegían crear su propia genética basándose en estas especies. La particularidad de esta especie es que la cantidad de materia seca por unidad de volumen es mayor en relación a sus contrapartes de especie Holstein (Roja, Frisona, Americana, etc), posee un mejor ratio de Grasa/Proteína, se sienten cómodas caminando distancias relativamente extensas y es posible mantenerlas en potreros de superficie reducida, sin embargo su aporte lechero, en términos de volumen, cae muy por debajo del aporte de otras especies.

Considerando la información técnica del robot, las partes involucradas y las prestaciones que otorga, fácil fue inferir que se trata de un equipo costoso. Con el fin de determinar si el conjunto de agricultores en la región del sur de Chile se encuentra apto para realizar la inversión (y de paso, probar que es un nicho de negocio rentable), se estudió, estado de sus plantales animales y los predios lecheros de forma crítica. Según el último Censo Lechero (año 2007), la Encuesta de Ganado Bovino (año 2009) y los Informes ODEPA, en Chile existen las siguientes categorías de productores.

Tabla 3.1: Caracterización de Productores Lecheros Chilenos

Nº	CARACTERÍSTICAS DEL GRUPO	ESTIMACION LECHE PRODUCIDA
1 a 19 vacas	Pequeños productores que tienen vacas con pocas posibilidades de ser comercialmente eficientes. En clasificación económica serían microempresarios.	1.300 litros por vaca por lactancia al año; o 500 litros por hectárea al año
20 a 49 vacas	Pequeños productores, la mayoría con apoyo INDAP. En este grupo hay productores que tienen potencialidad de mejorar y ser competitivos.	2.800 litros por vaca por lactancia al año; o 1.650 litros por hectárea al año
50 a 99 vacas	Pequeños y medianos productores, muchos de los cuales se mantienen como usuarios de INDAP. En este grupo se encuentran productores con potencial, pero que necesitan de mayores esfuerzos en difusión y capacitación de tecnologías y mejoras prácticas.	4.250 litros por vaca por lactancia al año; o 3.200 litros por hectárea al año
100 a 299 vacas	Pequeños a medianos productores, donde se pueden encontrar algunos pocos que todavía son usuarios de INDAP. En este grupo se observa un mayor uso de tecnología y una mayor producción de leche, pero todavía carecen de acceso a la mejor tecnología, conocimientos de las mejores prácticas y dificultad en el acceso a la información.	5.500 litros por vaca por lactancia al año; o 4.850 litros por hectárea al año
300 a 499 vacas	Es el grupo de buenos productores de leche, donde también se encuentran algunos de los mejores productores, pero también es posible encontrar algunos casos en donde se requiere difundir y capacitar en tecnologías y mejores prácticas.	6.500 litros por vaca por lactancia al año; o 6.300 litros por hectárea al año
500 más vacas	Es el grupo de los mejores productores de leche, que generalmente son los más avanzados en el uso de la tecnología, mejores prácticas y de acceso a la información.	8.500 litros por vaca por lactancia al año; u 11.000 litros por hectárea al año

Fuente: Informe Estudio Caracterización de los productores lecheros, usando bases de datos disponibles

Los encuestados se distribuyeron de la siguiente forma por las categorías.

Tabla 3.2: Distribución de productores por categorías

Agrup	Informantes	Viven	Vacas en	Superficie	Praderas*	Bosque
			leche	Total		Nativo
1 a 19 vacas	15.241	64.508	80.970	466.397	206.785	103.580
20 a 49 vacas	1.684	9.038	48.358	152.409	73.799	27.816
50 a 99 vacas	672	4.952	45.923	103.086	53.327	14.835
100 a 299 vacas	870	11.798	150.127	284.387	139.888	47.281
300 a 499 vacas	211	5.322	78.643	139.914	62.908	27.386
500 o más vacas	96	4.825	84.362	128.790	43.361	28.909
TOTAL	18.774	100.443	488.383	1.274.983	580.069	249.807

Fuente: Informe Estudio Caracterización de los productores lecheros, usando bases de datos disponibles

De los perfiles definidos, se consideró como piso la tercera categoría, pues estos productores disponen de herramientas y tecnología básica para implementar sistemas automatizados de ordeño así como las espaldas económicas y capacidad de endeudamiento requerida para costear un sistema de este tipo. Sin embargo, la realidad descrita por los informes y bases de datos era adversa pues, una de las partes esenciales en un predio lechero robótico era el computador central y solo un 3 por ciento de los productores encuestados disponía de uno en sus dependencias, mostrando los productores, abierta aversión a la interacción con estas piezas de tecnología.

La viabilidad económica de implantar un sistema de este tipo en una granja se evaluó según los criterios de evaluación de proyectos de inversión mediante la generación de flujos de caja. “Un flujo de caja se estructura en varias columnas que representan los momentos en que se generan los costos y beneficios de un proyecto. Cada momento refleja dos cosas: los movimientos de caja ocurridos durante un período, generalmente de un año, y los desembolsos que deben estar realizados para que los eventos del período siguiente puedan ocurrir”.³

3 Sapag C., Nassir 2007. Proyectos de Inversión, Evaluación y Formulación. Pearson Prentice Hall.

El horizonte de evaluación considerado para los flujos de caja es, idealmente, igual a la vida útil del proyecto evaluado, sin embargo, por la naturaleza y longevidad programada de la maquinaria, el horizonte de evaluación del proyecto se hizo coincidir con el periodo de amortización de la deuda, pues se hace difícil confiar en las proyecciones realizadas en un marco de tiempo del orden de dos décadas; los préstamos bancarios convergen en sus términos a un periodo de amortización que varía entre los 5 y 8 años, con tasas de interés que se ajustan al monto de la inversión.

En la búsqueda de un indicador de fácil lectura para tomar una decisión, tomando como punto de partida el flujo de caja, se recurrió a el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno. *“El Valor Actual Neto, conocido como VAN, que mide en valores monetarios, los recursos que aporta el proyecto por sobre la rentabilidad exigida a la inversión y después de recuperada toda ella; la Tasa Interna de Retorno, conocida como TIR, mide la rentabilidad de un proyecto como un porcentaje y corresponde a la tasa que hace al valor actual neto igual a 0”*.⁴

Figura 3.11: Ecuación del Valor Actual Neto

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Fuente: Elaboración Propia basado en lectura de autores

Por otro lado, con el fin de establecer una comparación rigurosa y acertada de los escenarios presentes y plausibles, se definió *una situación base o situación sin proyecto; la comparación de lo que sucede con proyecto versus lo que hubiera sucedido sin proyecto (statu quo), definirá los costos y beneficios pertinentes del mismo. Las evaluaciones financiera, económica y social se efectúan “conjuntamente” con la que podríamos llamar evaluación técnica del proyecto, que consiste en cerciorarse de la factibilidad técnica del mismo*⁵. La situación sin proyecto fue considerada como la adquisición de un sustituto al Robot de Ordeño.

Extrapolar las consecuencias de la inversión en este tipo de sistemas de ordeño (o quedarse con lo actual) requirió de un análisis incremental entre ambas alternativas, pese a que la literatura sugería realizar un análisis de sensibilidad a los precios⁵, por la naturaleza de la maquinaria y su comportamiento, así como el comportamiento de precios de la leche y los insumos para gestionar una granja lechera, es que se realizó este análisis en la forma de escenarios de distinta índole alrededor de cada alternativa, que re-

4 Sapag C., Nassir 2007. *Proyectos de Inversión, Evaluación y Formulación*. Pearson Prentice Hall.

5 Fontaine E. 2008. *Evaluación Social de Proyectos*. Pearson Prentice Hall 648p. 12va Edición

flejaban de forma más asertiva las posibles implicancias y probables situaciones que surgirían de optar por una u otra alternativa.

Productos sustitutos al Robot de Ordeño son las Salas Tradicionales y Salas Rotativas; estas alternativas han estado presentes en el mercado desde décadas, sin embargo, además de requerir una gran cantidad de horas-hombre respecto de las Salas Automatizadas, son energéticamente deficientes al consumir energía a plena capacidad de forma permanente mientras esté en operación; otro aspecto de importancia es que, debido a la ausencia de sensores, la pulsación y nivel de vacío no puede ser regulada de acuerdo a la posición ni estado de salud de la vaca, lo que aumenta la tendencia e incidencia en enfermedades.

En base a lo expuesto en el planteamiento del problema y las cifras históricas de adopción presentadas respecto del uso del Robot de Ordeño, se dedujo que la demanda por Sistemas de Ordeño Mecanizado se encontraba en declive en favor de Salas Automatizadas. Sin embargo, la oferta por este tipo de sistemas seguía siendo ampliamente extendida, con decenas de fabricantes comercializando sus propios modelos de salas; esto ocurría porque las patentes necesarias para la fabricación y comercialización de éste tipo de equipos eran más flexibles y eran fácilmente endosables a las empresas. Caso contrario es el de los fabricantes de Robot de Ordeño, en cuyo caso la totalidad de las patentes disponibles no son endosables y están en poder de la firma que las desarrolló.

4.- Diseño Metodológico

Objetivo 4.1: Examinar el contexto y condiciones de mercado de América del Sur

Actividad 4.1.1: Búsqueda de Indicadores Macroeconómicos para Chile

Se debió sondear en primera instancia, por la situación a nivel país de la Economía Chilena, de forma tal de determinar si Chile presenta estabilidad e índices de crecimiento que posibiliten la adquisición, mantención y pago operativo del Robot de Ordeño. Se consideraron como principales índices, la Evolución del Producto Interno Bruto (PIB) a Nivel País y del Producto Interno Bruto Per Cápita.

Descripción

La evolución del PIB se utilizó como un indicio de la estabilidad económica del mercado Chileno, advirtiendo que su alteración podría impactar el nivel de inversión y condicionar barreras de entrada a que nuevos nichos y mercados sean explotados mediante una Innovación Tecnológica.

Por su parte, el Producto Interno Bruto Per Cápita fue contemplado con el afán de estimar el poder adquisitivo de los dueños de predios lecheros chilenos. Considerando los montos de inversión en un proyecto de explotación lechera de ésta índole, se tomó como supuesto que no existirán subsidios y que, por ende, los productores lecheros tendrán que costear los equipos y sus correspondientes costos por sus propios medios.

Actividad 4.1.2: Búsqueda de Indicadores Macroeconómicos para el resto de Sudamérica

Descripción

Utilizando la misma lógica que con la actividad antes mencionada, se buscó sondear la estabilidad y fertilidad económica de los países más importantes en producción lechera de la región sudamericana, mediante la evaluación de la evolución del PIB y PIB Per cápita de Brasil, Argentina, Perú y Colombia, países que poseen los mayores volúmenes de vacas lecheras en sus respectivos territorios.

Objetivo 4.2: Describir los cambios conductuales y el proceso de adaptación del animal a un Robot de Ordeño en un Sistema Pastoril

Actividad 4.2.1: Búsqueda Bibliográfica – Manejo de Predio con Sistemas Robóticos

Descripción La introducción de una Unidad de Ordeño Robotizada supone cambios en el manejo del rebaño que es necesario estimar y predecir con el fin de lograr una implementación exitosa y con el nivel de eficiencia deseado. Se investigaron diferentes autores en revistas científicas especializadas que realizaron estudios enfocados al animal mediante motores de búsqueda web en dichas bases de datos, al sistema robótico y a las repercusiones provenientes de la instauración de un sistema de ordeño automatizado, se sondeó en busca de aspectos generales que debiesen ser considerados, al margen de cualquier otro factor en el rebaño o granja como sería el tipo de sistema (Estabulado o Pastoril), la genética del rebaño y/o la forma de manejar las franjas y alimentación de los animales.

Actividad 4.2.2: Búsqueda Bibliográfica, Testimonios y Pruebas en Predios Lecheros Robóticos en Sistemas Estabulados

Descripción La información y datos, al margen de modelos de simulación y estimaciones del fabricante, provienen de experiencias empíricas y ensayos del tipo “prueba y error”. Tomada en consideración la procedencia del equipo, Holanda, país en cuyo territorio existió un Sistema Estabulado estandarizado (ausencia total de predios bajo pastoreo), se contempló un escueto análisis de las condiciones de operación, requisitos de instalación y rendimiento de la maquinaria bajo este sistema, debido a que fue pensado para este caso de uso.

Descripción La razón de fondo de la elección de investigación bajo este sistema dice relación con un mayor porcentaje de predios robóticos en el mundo siguiendo esta metáfora en la explotación lechera, es decir, se tomó como piedra angular la experiencia y datos recolectados en predios estabulados para luego, intentar implementar dicho sistema en predios pastoriles.

En Chile existió una minoría de predios con establos durante todo el año, una segunda motivación a investigar y recolectar información fiable responde a los potenciales beneficios que podrían gozar, tanto la empresa distribuidora del

equipo en el territorio, como el productor lechero al adquirir el Robot de Ordeño y aplicar el manejo del rebaño a su establo.

Actividad 4.2.3: Búsqueda Bibliográfica, Testimonios y Pruebas en Predios Lecheros Robóticos en Sistemas bajo Pastoreo

Descripción Se buscó evidencia y datos de informes y revistas especializadas de predios robóticos exitosos en países en cuyos campos se aplicara un manejo similar al Pastoreo en Chile utilizando motores de búsqueda de bases de datos científicas. Se detalló con mayor ahínco las condiciones de operación, el rendimiento y las herramientas utilizadas en las praderas y fijación de franjas para lograr un nivel de rendimiento y eficiencia sostenible y fiable.

Objetivo 4.3: Realizar un Estudio de las capacidades operativas del robot de ordeño aplicado a un Sistema bajo Pastoreo similar al Chileno

Actividad 4.3.1: Búsqueda Bibliográfica, Testimonios y Pruebas en Predios Lecheros Robóticos en Sistemas bajo Pastoreo

Descripción La actividad antes mencionada y descrita también sirvió a su cometido a la hora de establecer una base teórica acerca de los modelos de pastoreo en actividad y para poder realizar una comparación crítica acertada. En el ítem de Resultados, se consideró solo el primer número indexado

Actividad 4.3.2: Análisis de Comparación y Contraste entre Sistema de Pastoreo y Estabulado para predios con Ordeña Automatizada

Descripción Aunque los modelos de explotación lechera, de forma global, persiguen lo mismo, el manejo utilizado difiere radicalmente respecto de un predio con rebaño similar, pero en un sistema pastoril. La performance de la maquinaria en ambos contextos también se ve alterada. A fin de resumir las principales diferencias en manejo, aporte lácteo, nutrición y aspectos técnicos, se realizó un análisis de comparación y contraste cualitativo entre ambos casos de uso mediante una tabla comparativa que sintetiza los factores antes citados. Este análisis sirvió, tanto para intentar predecir los cambios conductuales del rebaño al sistema, como para orientar el rendimiento del sistema robótico en concordancia con las metas del productor y el sistema en donde dicha maquinaria se inserta, sintentizando a su vez, la información recabada en ambos casos.

Objetivo 4.4: Formular requisitos económicos que un plantel debe cumplir para adoptar el Robot de Ordeño en Chile

Actividad 4.4.1: Levantamiento de Requerimientos para Productores Chilenos

Descripción

Se realizó breve estudio piloto para evaluar el nivel de interés general con respecto a la maquinaria, con charlas abiertas destinadas a grupos de productores lácteos de la zona de la X Región de Los Lagos, en las cuales, el anfitrión fue el Gerente de la División de Latinoamérica y agente proveedor de la maquinaria. De los grupos visitados, dos productores lecheros con predios pastoriles accedieron a consolidar sus requerimientos con el personal de la empresa distribuidora, a partir de los cuales se levantaron propuestas de instalación que fueron evaluadas por los solicitantes.

Actividad 4.4.2: Evaluación del estado de las Instalaciones, del plantel animal y de los potreros del predio

Descripción

Habiendo convenido en una distribución de planta con el productor lechero solicitante, se procedió a evaluar las condiciones existentes en el predio, buscando potenciales dificultades y opciones de mejora, tanto en la sala, como en el enrutado animal y la definición de las franjas, considerando también la regulación vigente. Cada observación realizada fue orientada además para facilitar la implementación de un sistema de ordeño robótico y mejorar su rendimiento.

Objetivo 4.5: Contrastar en términos de ingresos y egresos, la performance de una Sala Robótica versus una Sala de Ordeña Tradicional

Actividad 4.5.1: Generación de flujos de caja, purista e inversionista para Salas Robótica y Tradicional

Descripción

Con el fin de evaluar y sopesar el rendimiento económico de una inversión para la implementación de un sistema de ordeño automatizado versus renovar la sala de ordeño tradicional con otro equipo de similares características al original, se generaron flujos de caja del proyecto puro y del inversionista, contemplando escenarios probables y optimistas para el modelo robótico y un escenario probable para la sala tradicional. Cada uno de estos escenarios fue diseñado con diferentes características en consulta con un Ingeniero Agrónomo de la firma distribuidora en Chile. Se construyeron indicadores del Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno a partir de los flujos de caja según lo indicado en los recursos bibliográficos disponibles..

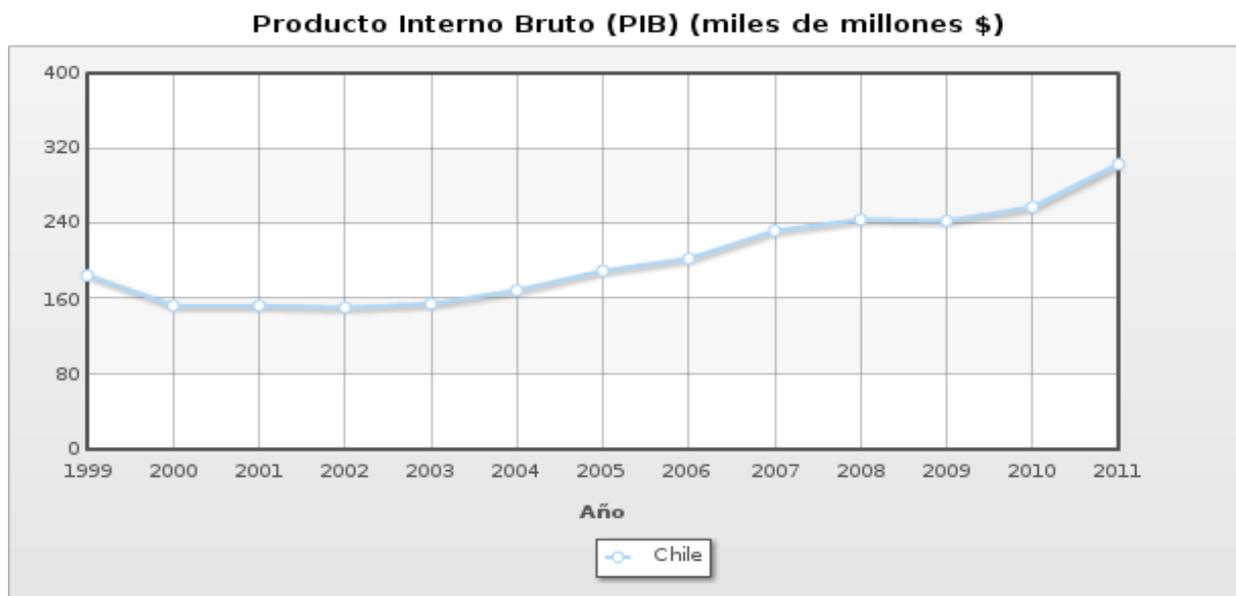
Objetivo 4.6:	Generar indicadores que denoten el potencial beneficio para la empresa de la utilización de un robot por parte de un productor chileno
Actividad 4.6.1:	<p>Formulación de indicadores de desempeño operativo y financiero para la empresa distribuidora en Chile</p> <p>Dado que en el modelo de negocio existe una conexión entre la eficiencia de cada predio robótico y un beneficio potencial extra para la empresa distribuidora en Chile, es que se ofreció una base de cálculo para estimar qué parte del negocio de la empresa está siendo abarcado por el concepto de la Ordeña Robotizada así como una guía de los indicadores de interés para el agricultor. Dichos indicadores fueron formulados en base a lo aconsejado por el fabricante y considerando las especificaciones técnicas del equipo.</p>
Descripción	
Actividad 4.6.2:	<p>Proyectar ventas y expansión de mercado del Robot de Ordeño a Nivel Sudamericano</p> <p>Con el fin de ilustrar la importancia de la capacidad de expansión de mercado para la empresa fabricante en aquellos países de alta producción de leche en el continente sudamericano (enumerados en el punto 4.1.2), se generó un breve análisis cualitativo tomando como punto de partida las bases de datos disponibles con los censos lecheros de cada país, ilustrando a su vez, beneficios y complejidades en la instalación de robots de ordeño que, debido al contexto de la nación, difieran de la realidad chilena. Dicho análisis se realizó sólo en su perspectiva cualitativa por existir diferencias en las medidas de bioseguridad, reglamentación sanitaria, precio de leche, normas ambientales y sistema impositivo.</p>
Descripción	

5.- Presentación y Análisis de Resultados

5.1.1.- Indicadores Macroeconómicos para Chile

En Chile, el Producto Interno Bruto se localizó alrededor de los 250 mil millones en 2011 y en unos 268 mil millones para el año 2012. El gráfico siguiente muestra el comportamiento de dicho indicador entre los años 1999 y 2011.

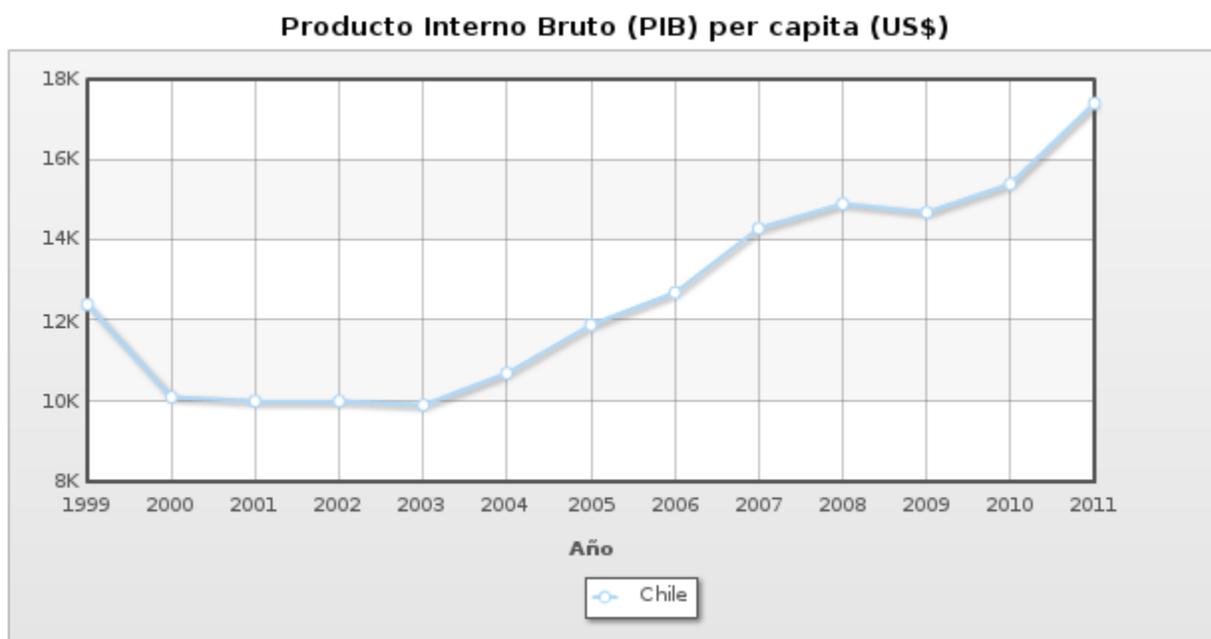
Gráfico 5.1: Evolución del Producto Interno Bruto Chileno



Fuente: *Indexmundi.com*

No se observan fluctuaciones violentas dentro del periodo analizado. Existe una tendencia al alza sostenida desde el año 2005 hasta el 2011 (incluyendo el año 2012, que no se encuentra graficado). Este es un reflejo de la estabilidad económica que ostenta Chile, lo que se constituye como una importante ventaja al realizar inversiones en maquinaria que se amorticen en el mediano plazo, disminuyendo la incertidumbre del mercado intercambiario y del precio de los productos, insumos e ítemes de suministro para el equipo. La estabilidad y crecimiento del país repercute en el ingreso percibido por la ciudadanía, tal como se especificó en la Sección 4.1.1, se tomó como supuesto que no existirían subsidios estatales para adquirir ni mantener la Sala de Ordeña con un Sistema Robótico; con los agricultores costeados por sus propios medios el equipo y los insumos necesarios, se hizo mandatorio analizar el Producto Interno Bruto Per Cápita, buscando por una aproximación en el poder adquisitivo que los agricultores podrían ejercer a priori.

Gráfico 5.2: Evolución del Producto Interno Bruto Per Cápita Chileno

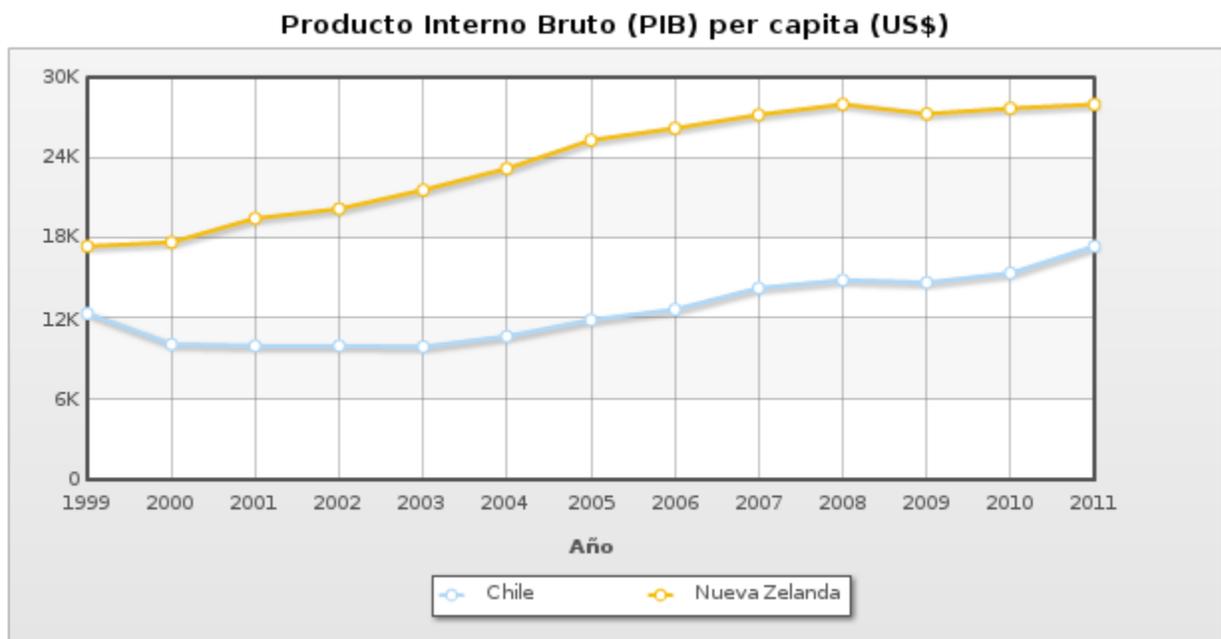


Fuente: *Indexmundi.com*

Tal como su símil para la nación, el PIB per cápita se caracteriza por su relativa estabilidad y fluctuaciones marginales. Se ha consolidado una tendencia al alza comenzando con el año 2004 y extendiéndose hasta el año 2012 con unos 18 mil dólares por persona.

Con el fin de establecer el nivel de madurez que muestra Chile, se le comparó con Nueva Zelanda, país pionero en lo que a Lecherías con Sistemas de Ordeño Automatizado en Pastoreo se refiere; aspectos como la forma de manejar los predios lecheros, la genética de los rebaños, la estructura de los predios, concentración de partos, nutrición animal, su legislación agrícola y las normas de calidad láctea son similares a los estándares y situaciones chilenos o solían guiarse por directrices similares, lo que convierte a este país en un referente para Chile en la innovación de una sala robótica de ordeña.

Gráfico 5.3: Comparación entre Chile y Nueva Zelanda en la Evolución del PIB Per Cápita



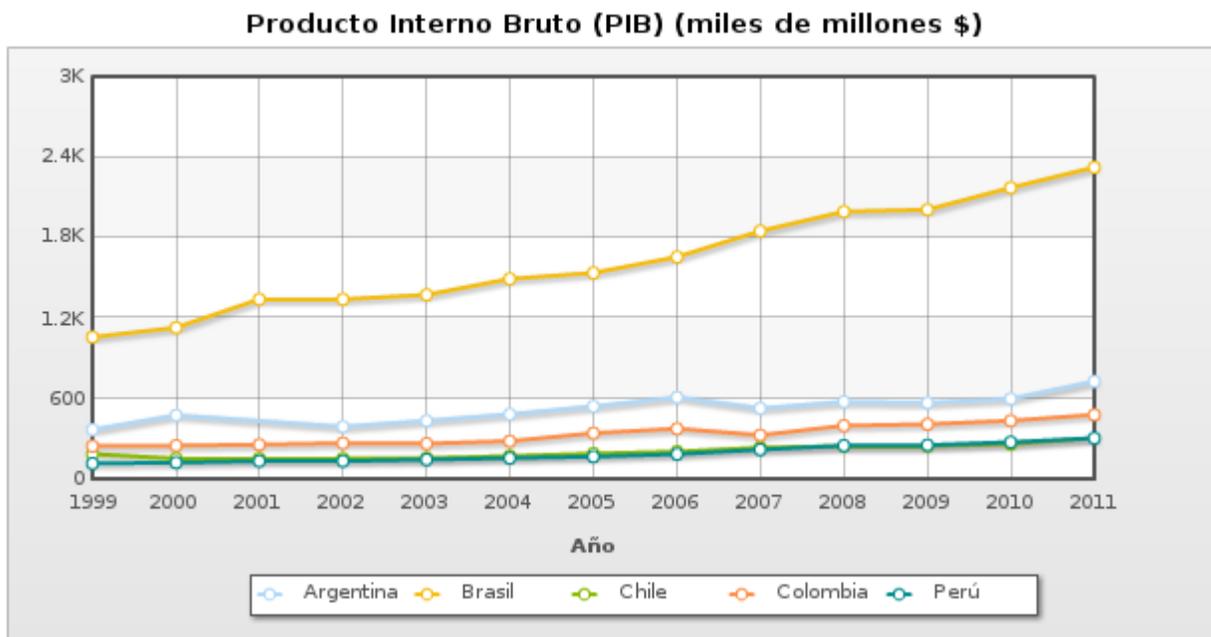
Fuente: *Indexmundi.com*

Se observó que el PIB Per Cápita de Chile al año 2011 es similar al de Nueva Zelanda para el 2002, año en que la primera sala de ordeño automatizada comercial vio la luz y el mercado del robot de ordeño se abrió para Sistemas bajo Pastoreo; esto hace presumir que, tanto la economía como los ingresos aproximados que pueden ser percibidos configuran un terreno lo suficientemente fértil para la llegada de la maquinaria al territorio chileno.

5.1.2.- Indicadores Macro económicos para otros países Latinoamericanos

Ejecutando un análisis crítico similar para otros países latinoamericanos productores lecheros, comparados con la realidad chilena, se tienen los siguientes escenarios para otros países productores lácteos de latinoamérica. Considerando el Producto Interno Bruto y su variante Per Cápita.

Gráfico 5.4: Evolución de PIBs para los Países Citados



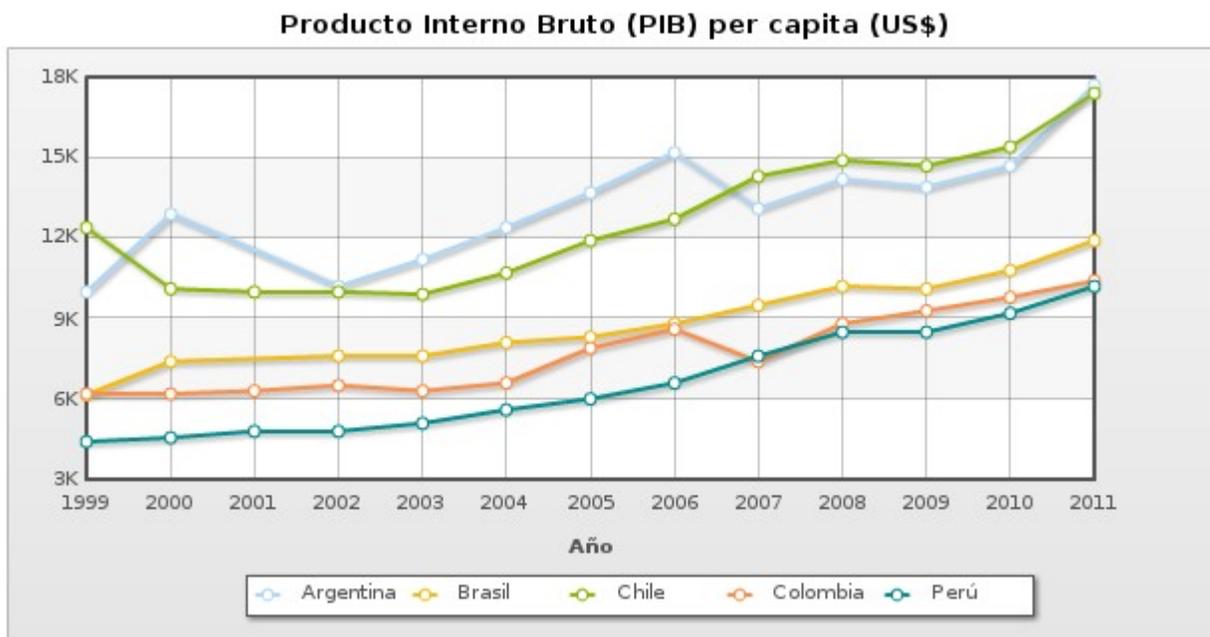
Fuente: *Indexmundi.com*

En el gráfico anterior fue posible visualizar que, visto desde la perspectiva del Producto Interno Bruto, los demás países productores lácteos poseen índices similares o mejores que el de Chile. Perú posee, a grandes rasgos las mismas cifras, Colombia y Argentina se distancian al alza con algunos cientos de millones de dólares más, mientras que Brasil, el principal productor lácteo de la región, se distancia considerablemente, debido a su mayor superficie, disponibilidad de recursos naturales y población.

En cuanto a estabilidad económica del país, todos los países analizados presentan índices que son similares a los Chilenos o bien, más altos.

Al indagar por el PIB per cápita, se observó el siguiente ordenamiento.

Gráfico 5.5: Evolución del PIB Per Cápita para los Países Citados



Fuente: Indexmundi.com

El PIB per cápita no es un fiel reflejo de lo que puede ser observado a nivel país para una economía, pues, con un Producto Interno Bruto similar, aunque menor que otros países, obtiene un PIB Per Cápita mayor que el de la mayoría de sus vecinos, con Argentina y Brasil obteniendo PIBs en el mismo orden de magnitud que Chile.

En cuanto a las fluctuaciones de este índice, se observa que Chile, Brasil y Perú ostentan la mayor estabilidad y crecimiento en los ingresos percibidos por las personas que sus pares Argentinos y Colombianos, en donde es posible ver déficits importantes de un año al siguiente.

5.2.1.- Manejo de Predio con Sistema de Ordeño Robótico

Para resolver las problemáticas existentes con la frecuencia de la ordeña, se realizaron estudios que contemplaron diferentes factores. Una de las opciones estudiadas fue la de aumentar la frecuencia disminuyendo el intervalo de ordeña (tiempo entre ordeños) en sistemas cuyo objetivo fuese maximizar la cantidad de leche obtenida por cada unidad robótica. Para aumentar la frecuencia (o disminuir el intervalo de las visitas al robot) se estudió el efecto que tendría en el animal la forma de ordenar los potreros, la disponibilidad de agua y su localización, concentrado suplementario, etapa de lactancia y preparación de la ubre antes de la ordeña.

Figura 5.1: Maqueta virtual de una estación robótica en un sistema pastoril



Fuente: Lely Industries

El resultado de estos estudios en un sistema de ordeña automatizado fue que las vacas que visitaban el robot con mayor frecuencia eran las que ingerían la mayor cantidad de pasto y más seguido (medido por la actividad ruminal desde un collar electrónico en el cuello de la vaca) y que también poseían una relación mejor grasa/proteína. A dichas vacas se les ha dispensado concentrado extra durante y después de cada ordeña, resultando esto en un aumento de aporte lácteo de entre un 7 por ciento a un 13 por ciento; paralelamente se observó un pequeño descenso del aporte lácteo en vacas en etapas de lactancia medianas o tardías. También se han realizado estudios en los que se midieron la eficiencia de Sistemas de Ordeña Automatizada en granjas de mayor o menor superficie y con el césped en diferentes estados, con resultados mixtos en el volumen de leche extraído y su calidad. Se determinó que vacas ingiriendo pasto

de menor altura visitaban la unidad robótica más a menudo que sus contrapartes en potreros con césped más alto. La distancia entre el potrero y la sala de ordeño impacta de forma negativa el rendimiento del rebaño, pues existe un gasto de tiempo en que la vaca se traslada por sus medios al robot y de vuelta al potrero a pastar. Este traslado consume algo de energía que podría haber sido utilizada en producción de leche, ergo, la frecuencia en las visitas al robot descende.

Otro problema que sufren los Sistemas bajo Pastoreo es que cuando el pasto crece existe comida de fácil acceso, fresca y de alta calidad para la vaca en su espacio circundante, y en la mayoría de los casos, el deseo del animal de ser lechado es débil comparado con el deseo de comer, por lo que lograr que la vaca salga del potrero hacia la unidad robótica también constituía un problema. Este escollo fue resuelto por investigadores del área agronómica quienes comenzaron a dispensar pasto fresco extra de diferente especie a las vacas en potreros cercanos a la sala de ordeña, de forma tal que mejoraran sus relaciones grasa/proteína, evitaran la pérdida de peso y mantuviesen el aporte lácteo, con resultados exitosos para un Sistema Automatizado de Ordeña (dichos resultados varían dependiendo de la etapa de lactancia del animal).

Otro factor de importancia a considerar en la aplicación de un modelo robótico a un Sistema bajo Pastoreo es el proceso de aprendizaje y adaptación del rebaño al equipo automatizado, área que también ha sido investigada, tanto por la empresa fabricante como por científicos independientes y tratada con diferentes métodos para lograr que los animales se adecuen al sistema automático y desarrollen el hábito de visitar las estaciones.

Lely desarrolló una agenda dedicada a la adaptación del rebaño para granjas pastoriles. Dicho programa es apodado como “El Triple Tres”, denominado de esta forma porque involucra tres diferentes procesos y niveles de adaptación, desglosado en tres días, tres semanas y tres meses.

Tabla 5.1: Programa de Adaptación de Lely en sistemas pastoriles

Actividad	Tiempo Requerido	Objetivo	Estado del rebaño al final de la actividad
Arreo del rebaño	3 días	Dar a conocer el sistema nuevo a las vacas	0% de adaptación
Estimulación de incentivo	3 semanas	Generar y consolidar estímulos para el rebaño	60% - 80% de adaptación
Entrenamiento de rezagados	3 meses	Incluir al sistema vaquillas nuevas o vacas que aún no se hayan adaptado	90% - 100% de adaptación

Fuente: Elaboración Propia basado en Manual FMS de Lely Industries

Durante la primera actividad, todo el rebaño sin excepción debe pasar por la unidad robótica siendo estimulado por humanos, y ésta debe intentar insertar las pezoneras y detectar flujo de leche; este proceso puede ser difícil de ejecutar pues el animal se asusta fácilmente al estar en un espacio confinado junto a un dispositivo desconocido. Durante esta primera etapa, se suele dispensar una cantidad fija y relativamente pequeña de concentrado a cada vaca. Al final de este proceso las vacas comienzan a acostumbrarse la unidad robótica, el espacio disponible en el interior del robot, al ruido, al movimiento del brazo neumático desde el costado y a la inserción de las pezoneras.

Durante la segunda actividad, se crea y consolida el estímulo de asistir a la unidad robótica para consumir concentrado. Este proceso dura las siguientes tres semanas desde el tercer día del proceso anterior. Mientras esta actividad se desarrolla se recomienda arrear a las vacas al principio para luego dejar que la propia necesidad de la vaca la motive a visitar la sala de ordeña. Cada animal recibirá una cantidad de concentrado de acuerdo al nivel de aporte lácteo por día (suma del volumen entregado por cada pezón, por cada ordeña en 24 horas para una vaca en particular); finalizando esta etapa se logra adaptar entre un 60 a un 80 por ciento de los animales.

La última etapa tiene lugar durante los siguientes tres meses a partir de la finalización de la Estimulación del Incentivo. En esta etapa se entrena a los animales que aún no hayan mostrado signos evidentes de adaptación al sistema, así como a las vaquillas y vacas nuevas que se hayan incorporado al rebaño recientemente.

Otros científicos han realizado experimentos de exposición a ciertas condiciones antes de arrancar la unidad robótica. Los resultados son categóricos y exponen que el tiempo de adaptación puede rebajarse significativamente si se arrea a las vacas y se les enseña a utilizar las puertas y los flujos de tránsito previo a la partida; más aún, si se expone a la vaca a ruidos y movimiento similares al de una unidad robótica (bomba de vacío, cilindros neumáticos, sonido de chorros de agua a presión o pulsación). También se encontró que las vacas más jóvenes y vaquillas se acostumbraban mucho más rápidamente que los animales más añosos. El autor puntualiza que después del proceso, todo el rebaño fue capaz de llegar al robot sin necesidad de asistencia, solamente los tiempos de adaptación fueron los que cambiaron. Un hallazgo relacionado sugiere que las vacas que han dado a luz recientemente y están lactando se adaptan más rápidamente a una unidad robótica

Una posible desventaja del Sistema de Ordeño Automático es que, una vez que las vacas crean el hábito de visitar el robot, pueden llegar a pasar hasta siete veces en el día por él, de las cuales aproximadamente tres veces son ordeñadas (ergo, se les dispensa concentrado). El gasto energético de trasladarse y el menor tiempo pastando impacta negativamente en los niveles nutricionales del animal y altera sus hábi-

tos alimenticios, en algunos casos hasta en un nivel metabólico. Un experimento dirigido en Nueva Zelanda demuestra que las vacas que son ordeñadas una vez al día (en una sala tradicional) muestran mejor salud que aquellas que son ordeñadas dos veces en un Sistema bajo Pastoreo.

Nuevos estudios se ejecutaron al año siguiente, en donde se comparó un rebaño inserto en un Sistema de Ordeño Automatizado con un grupo de control en una sala tradicional en Sistemas Estabulados. Los resultados de este experimento muestran que tanto la salud del animal, como su condición corporal y sus hábitos alimenticios no se ven significativamente alterados. El único parámetro que se ve alterado en una proporción mayor es el conteo de células somáticas (SCC por su sigla en inglés), el que se ve incrementado debido a un alza en el estrés del animal al principio de la adaptación, sin embargo, el conteo se mantiene muy por debajo de los límites regulados y mantiene su calidad y condiciones para el consumo humano.

En Chile, la detección de la mastitis bovina se configura como un proceso correctivo, una vez que la enfermedad ya se encuentra desarrollada y manifestada; constituye la patología más frecuente y cara de los campos con Sistema bajo Pastoreo, pero gracias a la combinación de los indicadores recolectados por la estación robótica, es posible detectar mastitis y otras afecciones del animal de forma temprana y con un nivel muy reducido de falsos positivos cuando dichos indicadores son leídos en conjunto.

Se intentó verificar la validez de los datos entregados por los sensores en el collar de cada vaca. Dicho proceso en un Sistema bajo Pastoreo es una tarea engorrosa y consume tiempo. El objetivo de dicho estudio era el de probar que el collar detectase el mismo nivel de actividad, tiempo en alimentación y tiempo que el animal pasa recostado que el que se podía apreciar con ojos humanos. Se encontró una alta determinación entre lo observado empíricamente y los reportes que fueron extraídos del robot; existe una desviación que, a criterio del alumno redactor, supone un error asumible (un caso de actividad ruminal de 29 min promedio reportados versus 37 min observados con un 95 por ciento de nivel de confianza).

5.2.2.- Robot de Ordeño en Sistemas Estabulados

Dado que el robot de ordeño fue originalmente pensado para Sistemas Estabulados, siendo posteriormente portados a Sistemas en Pastoreo, acertado es analizar y realizar una comparación (al menos difusa) del rendimiento que ambos escenarios presentan para la inserción de un robot de ordeño.

Tal como se estipuló en el Marco Teórico, los Sistemas Estabulados presentan en su mayoría, vacas cuya especie es una variante de Holstein. Dado que el animal se encuentra confinado en un mismo espacio durante la mayoría de su período de lactancia, es posible manejar una gran cantidad de animales por unidad de superficie. Es por esta razón que las lecherías en Sistemas Estabulados poseen, en general, una mayor cantidad de animales para un solo punto de ordeña y el aporte lácteo del rebaño también se acrecenta, pues los animales no gastan energía en trasladarse por largas distancias. El modelo robótico que se revisó durante la ejecución del proyecto tiene la capacidad nominal de realizar hasta 180 ordeñas al día con un 10 por ciento de tiempo muerto para su rutina de lavado, o bien, ordeñar 60 vacas tres veces cada veinticuatro horas por cada box robótico. Considerando dicha capacidad, se configuran los siguientes rangos para lecherías estabuladas.

Tabla 5.2: Número de robots requeridos según número de vacas y capacidad nominal con 3 ordeños diarios.

Número de Vacas	Nº de U. Robóticas	Nº de Compresores	Nº de U. Centrales
1-60	1	1	1
61-120	2		
121-180	3	1-2	2
181-240	4	2	
241-300	5	3	3
301-360	6		
361-420	7	4	4
421-480	8		

Fuente: Elaboración Propia.

En lecherías estabuladas, el número de ordeños por día varía alrededor de los tres ordeños diarios promedio para el rebaño; $\pm 0,5$ ordeños promedio diarios según las especificaciones del fabricante del robot. Cuando el número de ordeños por día aumenta, la capacidad de la unidad robótica para lechar más animales disminuye (es por esto que es más preciso hablar de la capacidad en términos de ordeños diarios que de número de animales por robot). Para vacas Holstein Frisonas, el aporte lácteo promedio en etapas tempranas de lactancia oscila en los 34 kg de leche al día y cada ordeño, con este aporte lácteo, tiene una duración de unos 15 minutos.

5.2.2.1.- Dosificación de Concentrado

Una parte vital de un sistema robótico es el concepto de Lechado Voluntario. Con el fin de atraer al animal hacia el robot para lecharse de forma automática, se le debe ofrecer un incentivo. En lecherías robóticas dicho incentivo varía desde un país a otro; la práctica más generalizada es la de dispensar una cantidad de concentrado altamente energético dentro del box del robot. Muchos agricultores holandeses que poseen robots de ordeño, optan por dosificar más tipos de concentrado una vez que la vaca va a lecharse; los tipos de concentrado extra que se utilizan en sistemas estabulados europeos involucran Soja, Torta Raps, Maíz y otros cereales “pelletizados”. En algunos casos también se suministra concentrado en formato líquido, siendo el Propilenglicol el compuesto más dosificado en granjas holandesas. También es posible dosificar minerales extra en forma líquida utilizando un equipo neumático extra dentro del box del robot.

Cada vaca es diferente; es posible observar notables diferencias entre un animal y otro inclusive si son de la misma variante genética. Algunos factores que inciden en los patrones alimenticios del animal involucran Edad, Etapa de Lactancia, Salud del Animal (determinado por el Conteo de Células Somáticas, Nivel de Estrés (especialmente en vaquillas o vacas que son recién introducidas al robot de ordeño) y Estado Hormonal (Celo del animal y nivel de actividad). Con el fin de poder establecer un manejo eficiente del rebaño bajo estas variadas circunstancias, se ha creado una Tabla de Alimentación y un Módulo de Optimización Nutricional dentro del Software de Gestión del Rebaño.

La Tabla de Alimentación describe cuánto concentrado de un tipo específico se le suministra al animal dependiendo de su etapa de lactancia. Dicha Tabla puede ser gestionada por el agricultor o un consultor de la empresa distribuidora mientras se asesora al productor lechero en cómo optimizar el alimento que utiliza. Los resultados de dicha gestión pueden ser revisados en el cuadro de mando que existe en el Software de Gestión de Rebaño.

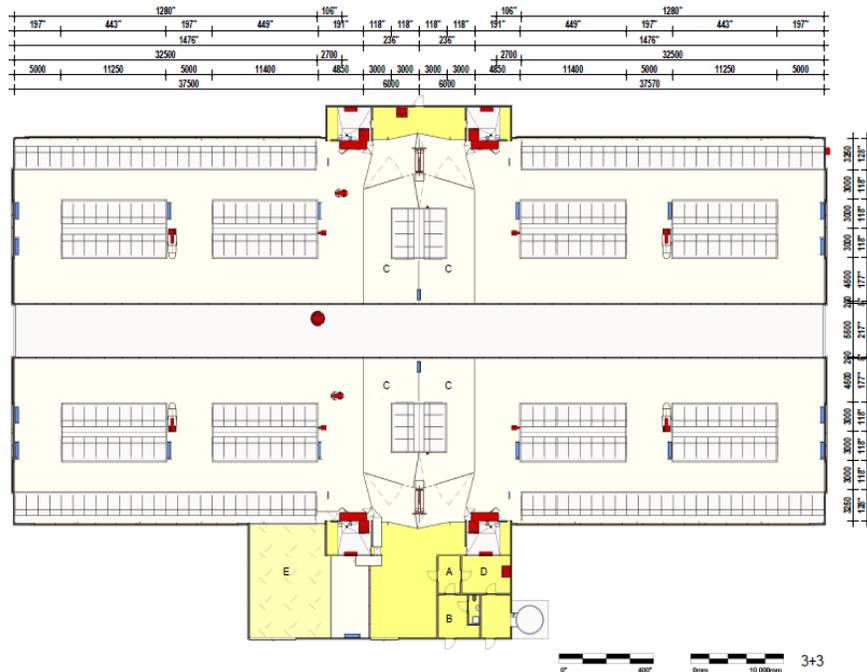
El Módulo de Optimización Nutricional es un agregado que se puede añadir al Software de Gestión del Rebaño y realiza un cálculo iterativo entre el aporte lechero de la vaca, la cantidad de concentrado dosificado y su precio. En vacas altamente productivas, el computador central le dirá a la unidad robótica que dosifique una cantidad de concentrado extra cada vez que el animal visite la estación para lecharse mientras dicho aporte se mantenga rentable, es decir, mientras la vaca dé leche extra por cada dosis adicional de concentrado.

5.2.2.2.- Distribución Espacial del Establecimiento

El único aspecto relevante en la distribución espacial en un Sistema Estabulado es asegurar un tránsito fluido y para la vaca al interior del edificio. Entre otras, las condiciones necesarias que deben proveerse para que un robot tenga éxito en un sistema estabulado son las siguientes:

1. Libre de obstáculos: Las vacas (especialmente la especie Holstein) no son animales ágiles y se detendrán si encuentran un obstáculo que las prevenga de avanzar hacia la estación robótica, inclusive si es un obstáculo pequeño. El diseño debe estar pensado para que el trayecto sea lo más simple y directo posible.
2. Tránsito fluido: En adición a las consideraciones respecto de los obstáculos, es necesario también contemplar en el diseño la simpleza de los trayectos. Es menos deseable tener un establo con muchas curvas y dispositivos complejos, pues la vaca al principio lo percibirá como un laberinto y no lo podrá resolver, inclusive si se arrea, esto liberará adrenalina en su torrente sanguíneo y aumentará su estrés.
3. Vías amplias: En sistemas estabulados se requiere utilizar los mismos pasillos como entrada y salida, por ende, dicho pasillo debe tener la suficiente anchura para evitar los atochamientos ocasionados por vacas de mayor rango o por un cruce de vacas en sentidos contrarios que comprometan la eficiencia del sistema.

Figura 5.2: Elevación de Planta de un Establo Lechero con 4 Estaciones Robóticas en series de dos.



Fuente: Lely Astronaut A4 – Manual de Producto (2013)

Como los animales son alimentados con ensilaje que se les dispensa directamente en su puesto, no se requiere una configuración de potreros compleja para este sistema pues el rebaño difícilmente saldrá del establo (dependiendo de la regulación de cada país). Usualmente en este tipo de construcciones se posiciona el pozo purinero en el subsuelo que ocupa el mismo establo.

No solamente una vaca de genética Holstein Frisona puede ser alojada en un Establo; en Europa se utilizaba, básicamente, cualquier genética disponible para copar la capacidad de la instalación. Otras razas predilectas para Sistemas Estabulados involucran a las Simmental, Montmelier, Holstein Americana y Pardo Suiza. Se privilegia, sin embargo, destinar vacas con genética que las predisponga a ser más voluminosas, pues éstas tienen tendencia a rendir más volumen de leche por kilo de concentrado suplementado que vacas que poseen menos talla como las Jersey.

Las vacas de mayor tamaño también consumen más ensilaje y, al estar confinadas, no gastan más energía en tareas como trasladarse, por ende, una mayor cantidad de nutrientes es destinada a la producción de leche que sus pares de menor tamaño en Sistemas bajo Pastoreo.

5.2.2.3.- Lecherías Grandes en Sistemas Estabulados

Para sistemas estabulados, una “Lechería Grande” estaba considerada para predios con más de 500 vacas (9 o más estaciones robóticas) en cuyos establos se acomplejaba más el manejo y era necesario tener consideraciones especiales en cuanto a las bases técnicas y agronómicas. Según las capacidades del robot de ordeño y el hardware conexo con el que éste debía trabajar, se debía realizar una separación física, electrónica y de software para poder ejercer una gestión eficiente sobre rebaños grandes mediante la división de éste en pequeños grupos. Dichos grupos deberán siempre asistir al mismo conjunto de estaciones robóticas, posibilitando de esta forma, un control más certero sobre el rebaño completo, un diagnóstico de las fallas más oportuno y la mantención del robot menos invasiva (haciendo innecesario detener la sala completa sino que solamente una porción de ésta).

Ejemplos de lecherías grandes con Sistema Estabulado pueden verse en España, Canadá, Alemania y Estonia, con 580, 1100, 1100 y 2000 vacas respectivamente.

Figura 5.3: Pasillo de Control para un Clúster de 8 robots en Establo Grande.



We think that converting an existing system is a relatively large undertaking.

Fuente: Video Testimonial – Lecherías Grandes en Alemania. Lely Industries, Sitio Oficial (2013)

5.2.3.- Robot de Ordeño en Sistemas Pastoriles

Tal como ya se adelantó en la Sección de Marco Teórico, el manejo de un Sistema de Lechado Voluntario en un predio con Sistema de Pastoreo requería contemplar aspectos más integrales y globales respecto del rebaño, tales como el enrutado que el animal deberá seguir para llegar a la estación robótica, la distancia que la vaca debe caminar, el manejo de los potreros y el césped y la rotación de dichos terrenos para no sub pastorearlo ni sobre pastorearlo.

Las medidas de eficiencia y rendimiento del robot en el contexto de un Sistema de Pastoreo cambia drásticamente respecto de un Sistema Estabulado; en contraste con éste último sistema, en un Modelo de Pastoreo, el rebaño se encuentra durante toda la etapa de lactancia en pradera, comiendo pasto fresco directamente desde el suelo, entrando a la sala de ordeña únicamente para ser lechada y/o si requiere algún tipo de tratamiento, para luego ser devuelta nuevamente a la misma u otra pradera. En circunstancias como éstas, el incentivo que la vaca tiene para asistir a la estación robótica para ingerir el concentrado se ve mermado pues el animal está constantemente rodeado de alimento. A esto se le debe sumar el tiempo que le toma a la vaca trasladarse desde el potrero en que se encuentre hasta el punto de ordeña.

Según el modelo Neozelandés de pastoreo con robots de ordeño, considerando los factores antes mencionados, la medida de rendimiento de cada estación robótica se mide tomando como premisa las 180 ordeñas diarias, pero con 2,4 ordeños por día; ergo, 75 vacas por robot.

Tabla 5.3: Número de robots requeridos según número de vacas y capacidad nominal con 2,4 ordeños diarios

Número de Vacas	N° de U. Robóticas	N° de Compresores	N° de U. Centrales
1-75	1	1	1
76-150	2		
151-225	3	1-2	2
226-300	4	2	
301-375	5	3	3
376-450	6		
451-525	7	4	4
526-600	8		

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se ha reiterado, en Sistemas Pastoriles se utilizaban principalmente variantes de vacas Jersey, Kiwi y sus cruas; dichas especies aportan en promedio 24 kg de leche al día en etapas tempranas de lactancia (producción máxima al día).

Dado que el aporte diario es menor respecto de sus contrapartes Holstein Frisonas y Rojas, Simmental, Montmelier y Pardo Suiza, el tiempo de lechado de una vaca Jersey, Kiwi y sus variantes es menor: Entre cinco y doce minutos. La desviación estándar observada en el número de ordeños es mayor pero es difícil de predecir y estratificar pues las estructuras y configuración de los potreros y caminos, así como de su envergadura, impactan en este estadígrafo; dicho esto, el fabricante no especifica una cifra exacta, sino que da una orientación aproximada con el número de ordeños promedio diarios para el rebaño.

5.2.3.1.- Dosificación de Concentrado

La dosificación de concentrado en sistemas de pastoreo no difería en gran medida respecto de los sistemas estabulados en términos de la variedad de concentrados. La única gran diferencia entre ambos sistemas en cuanto a hábitos alimenticios era que, dado que el concentrado es el principal incentivo que tenía el animal para caminar hacia el robot, la cantidad de alimento que se debía dispensar para mantener el estímulo requería ser calculada de forma más acuciosa. Dicha cantidad varió en gran medida entre un predio robótico y el siguiente y también estuvo condicionado al objetivo que el agricultor se plantease. En Chile, el manejo de la alimentación del rebaño fue altamente influenciado por el costo de producción, en donde se obtiene un nivel de producción bajo, pero alto margen de contribución por litro de leche producido.

Una vaca Jersey obtiene su máxima producción lechera entre la segunda y tercera lactancia, es decir, entre los 4 y 6 años de edad y se desea llegar a ese máximo lo antes posible. Además, en el modelo de pastoreo chileno se deseaba que el animal consumiera la mayor cantidad de pradera posible dentro de los límites de superficie del campo, de forma tal que su alimentación no se viera tan suplementada por el concentrado que tenía un alto costo para el agricultor (la pradera es, básicamente cultivada y cosechada por el animal mismo). Si llegase a existir demasiado concentrado disponible para la vaca, ésta sustituirá gran parte de su dieta por el alimento que la unidad robótica le dispense, lo que eventualmente impactaría en su producción y en el margen por litro que reciba el productor lechero; es por esta razón que a las vacas en sistemas de pastoreo se les suministraba una menor cantidad de concentrado respecto de vacas Holstein, que eran comunes en establos y en donde se apostaba por una alta producción a un alto costo.

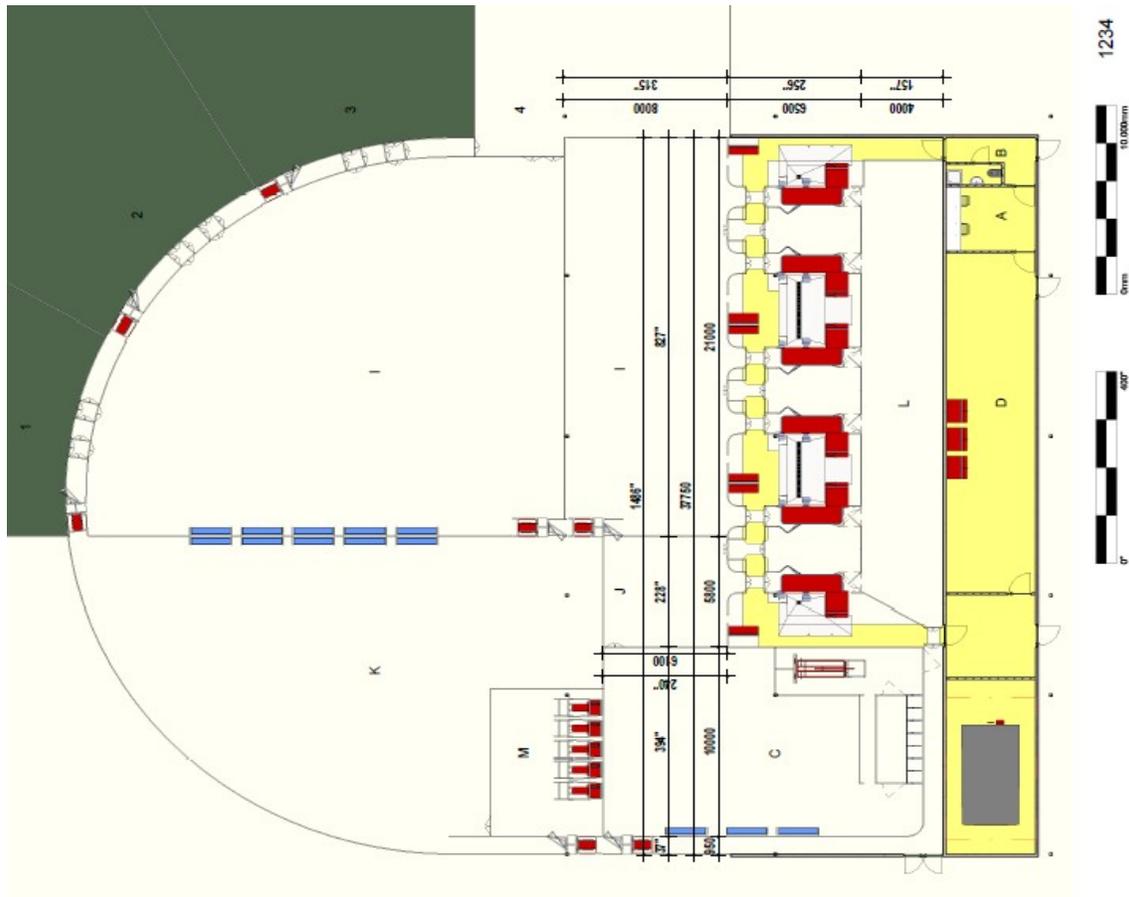
En cuanto a las herramientas de software disponibles para gestionar la nutrición del rebaño, la Tabla de Alimentación para el rebaño sigue ostentando un rol imprescindible. El módulo de Optimización Nutricional, que está disponible como un opcional, sigue siendo útil pero es aconsejable hacerse asesorar por agrónomos expertos en manejo de predio en pastoreo, pues dicho módulo podría ver mermada su efectividad dado que el animal dispone de alimento constantemente, materia sobre la cual no era posible establecer un control completo en este tipo de sistemas, además de la distancia que el rebaño debía recorrer para llegar a la sala de ordeña.

5.2.3.2.- Distribución Espacial del Establecimiento

La distribución espacial de una sala de ordeño para un sistema pastoril reduce en gran medida la superficie requerida; dado que los animales se encuentran durante toda su lactancia en pradera, no era necesario construir un edificio de amplia superficie para alojar al rebaño ni realizar excavaciones profundas para incluir un pozo purinero. Los principios que una lechería robótica debía cumplir para su correcto funcionamiento son los siguientes

1. Libre de Obstáculos: Tal como en sistemas estabulados, la vía de entrada y salida a la sala de ordeño y al robot mismo debe estar libre de obstáculos y dispositivos extraños con los que la vaca no interaccione.
2. Tránsito Fluido y Dirigido: En contraposición con el sistema estabulado, en donde se busca únicamente un tránsito fluido del rebaño hacia el robot y evitar atochamientos, en los sistemas bajo pastoreo, el tránsito debe ser además dirigido, con un sistema de rutas sencillo y eficiente que los animales puedan entender pues los rebaños transitan desde un potrero hasta la sala y, dependiendo del manejo que el agricultor decida adoptar, en el camino de retorno, dichos animales podrían ser dirigidos a un potrero distinto al inicial. La distribución espacial de los robots al interior del establecimiento también difiere respecto del sistema estabulado, en donde existen unidades puestas en serie; en predios pastoriles, las unidades robóticas deben ser posicionadas en paralelo, de forma tal que cada vez que una vaca arribe a la sala, tenga que pasar por el robot sin tener otra opción (inclusive si dicha vaca no debiese ser lechada).
3. Vías Diferenciadas: Pese a que existen agricultores que prefieren utilizar el mismo camino para entrada y salida de animales desde la sala, es deseable mantener vías dedicadas exclusivamente o a entrada o salida al edificio. De esta forma se reduce el riesgo de generar atochamientos causados por vacas de alto rango detenidas en la mitad del camino que detengan al resto del rebaño y evite que se ordeñen. La ventaja de disponer de un camino diferenciado para entrada y salida es que no se requiere de una vía ancha, pero requiere de mayor inversión en cercado eléctrico. Si se opta por una vía en doble sentido, se requiere de un camino de mayor anchura (según el fabricante, debe existir suficiente espacio para que una vaca pase habiendo otras dos cruza-das en el camino, aproximadamente 6 metros), por ende se pierde una mayor superficie de suelo, pero no requiere de tanto cercaje ni redes eléctricas para operar.

Figura 5.4: Elevación de planta de un predio robótico en sistema de pastoreo neozelandés con seis estaciones (bloques en L, rojos a la derecha) y tres puertas segregadoras (pequeños rectángulos en medialuna a la izquierda).



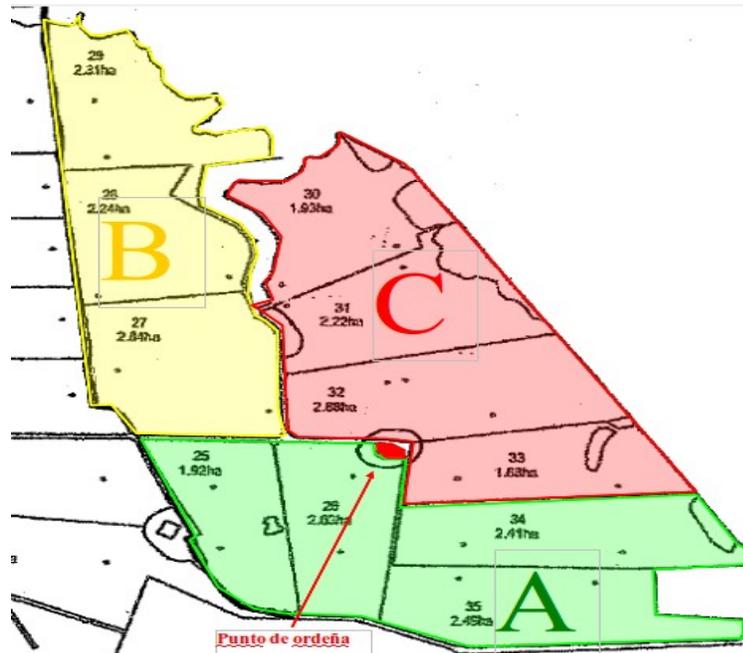
Fuente: Lely Astronaut A4 – Manual de Producto.

5.2.3.3.- Distribución y Ordenamiento de Potreros

Para lograr una exitosa inserción de un predio lechero pastoril a un modelo de lechería robótica, era necesario considerar el aspecto clave de la distribución de los potreros en el campo, pues uno de los requisitos para el éxito de una sala de ordeña robótica automática es que el animal tenga la opción de viajar y lechearse en cualquier momento del día. Habiendo dicho esto, se debió tener como principal foco, el trazar los caminos en la forma más simplista que el campo pueda admitir con el fin de que los animales no se pierdan en el trayecto y el agricultor se viera en la obligación de arrear al animal para hacerlo pasar por el punto de ordeña.

De los modelos de pastoreo con sala automática que han sido diseñados a la fecha, el lay out de potreros en “abanico” ha dado los mejores resultados, este modelo fue ideado en el contexto de manejo de predio en Nueva Zelanda. Esta distribución localiza a la sala de ordeña en un punto cercano al centro del predio (punto más cercano a todos los potreros), lo que permite instalar puertas de separación que identifican al animal y lo derivan a uno u otro potrero. Estas puertas son accionadas de forma neumática y el sistema de identificación se encuentra conectado a la red de datos del robot de ordeña (ver Figura 12 en página 35).

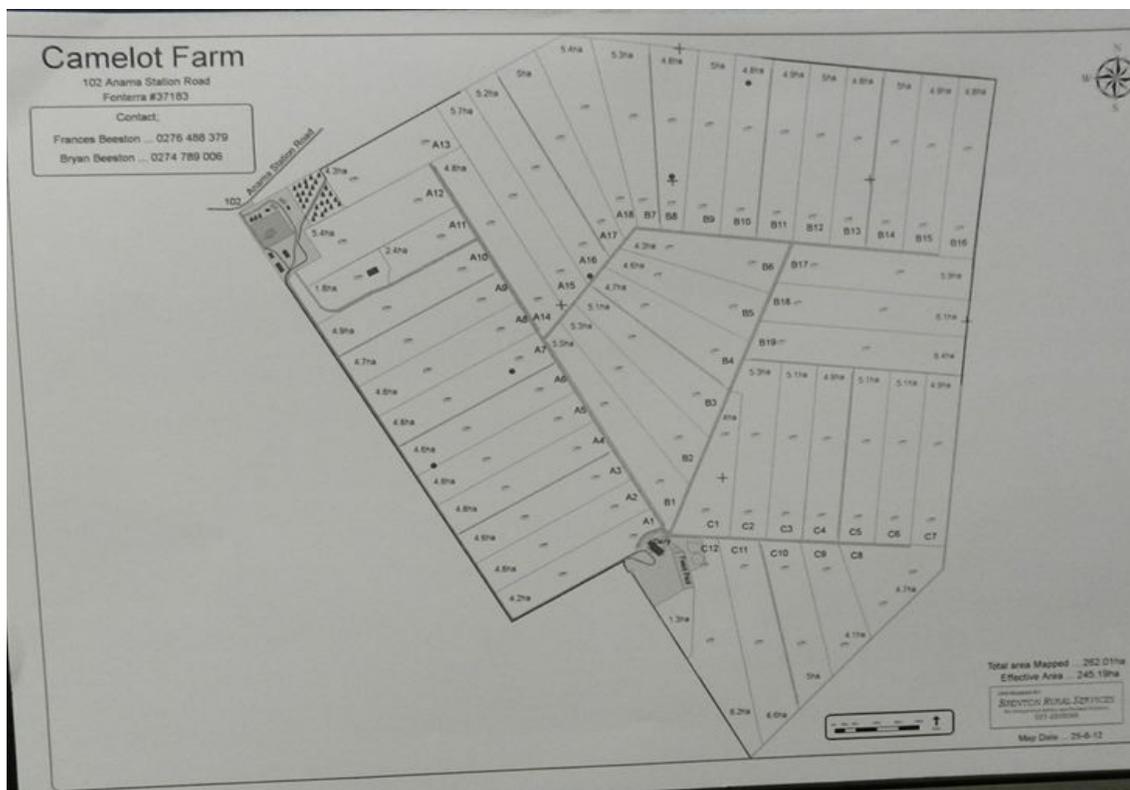
Figura 5.5: Distribución de Potreros en abanico según esquema A-B-C en lechería de Nueva Zelanda.



Fuente: Jerry Claessens – E-mail enviado el 17/6/2013.

Existían también otros predios emblemáticos que lograron un nivel de automatización muy alto sin tener que distribuir en forma de abanico. En la Granja Camelot (Canterbury, Nueva Zelanda) existieron 8 estaciones robóticas para 600 vacas y un sistema de cuatro grupos de potreros, A-B-C-D, y fue diseñado para ser operado por solamente una persona. La sala de ordeña se localizaba en el sector centro-sur del predio, esto significa que las vacas caminaban más de 1,5 km desde el potrero más lejano para llegar a la sala de ordeña.

Figura 5.6: Distribución espacial de la Granja Camelot, Nueva Zelanda



Fuente: Granja Camelot – Sitio Web Oficial

Las grandes lecherías deben contemplar los mismos aspectos ya mencionados para el sistema de pastoreo. Según el fabricante especificó, un sistema de pastoreo con ordeña automatizada, puede ser viable técnica y agrónomicamente con hasta diez estaciones robóticas.

De los modelos de pastoreo robótico existente, el Método Neozelandés era el menos invasivo en cuanto a la alteración del régimen de pastoreo del rebaño, pues utilizaba las mismas herramientas que en un manejo tradicional, aunque con algunos “extras”. Estas herramientas extras se constituyeron en el uso de la puerta segregadora y en la disposición de bebederos, ensilaje o dispensadores de concentrado en lugares estratégicos.

5.2.3.4.- El Caso Irlandés

Un Sistema de Pastoreo que también dio resultados efectivos en su aplicación a sistemas robóticos de ordeño es el Modelo Irlandés, aunque con más alteraciones al modelo tradicional de pastoreo y orientado a granjeros con metas que involucrasen mayores sólidos por litro que volumen extraído en sí.

Se realizó una visita a Irlanda, en donde un agente de la compañía proveedora fue el anfitrión en visitas a tres predios lecheros, dos de los cuales se encontraban alrededor de la capital (Dublín). En Irlanda se migró desde un Sistema Estabulado a un Sistema de Pastoreo, cuya base de operación se sustentó en el método del Strip Grazing y suplementando la alimentación del animal con una cantidad de concentrado mínima.

Strip Grazing

Figura 5.7: Comparación de Potreros con y sin Strip Grazing



Fuente: Elaboración Propia

El enfoque Strip Grazing se enfocaba en realizar un control sobre la alimentación y nutrición de los animales mientras se encuentran pastando en las praderas. Este enfoque se ocupa de mantener los potreros para vacas de alto aporte lácteo con una altura no mayor a 3,5 centímetros, de forma tal que el césped se regenerase de forma constante y aportar una mayor cantidad de nutrientes a la vaca, facilitando a su vez, el estímulo de salir del potrero para ir a ordeñarse a la sala robótica. Los potreros a los que

generalmente se les aplica el Stripping eran los más cercanos a la sala robótica, y en general, los agricultores optaban por segmentarlos de forma provisoria con la ayuda de cercos eléctricos desmontables. De esta forma disponen de mayor flexibilidad para reajustar, la ubicación, geometría y superficie de la(s) franjas con césped corto.

Enrutado de las vías animales

Los agricultores irlandeses optaban por utilizar cada vía en doble sentido, para evitar tener que implementar una mayor cantidad de rutas para los diferentes potreros y desperdiciar superficie de campo en caminos. La relación de aspecto vaca/camino según expertos en Pastoreo Bovino, en colaboración con el proveedor de la maquinaria, debe ser suficiente para que dos vacas detenidas dejen suficiente espacio para que una tercera vaca esté cruzada en el camino. De esta forma se evitarán interrupciones de tráfico y se asegurará un número base de ordeños diarios sin supervisión directa.

Figura 5.8: Relación de aspecto vaca/camino correcta.



Fuente: Elaboración Propia.

En el sistema mostrado en la Figura anterior, se muestran dos vías. Dichas vías iban al mismo o diferentes potreros dependiendo de la configuración que el agricultor le imprima al cerco eléctrico. Cuando ambos caminos dirijan al mismo punto, se utiliza una vía como entrada a la sala y la otra para salir. En el caso en que cada vía lleve a un potrero diferente, cada vía se usaba como entrada y salida en doble sentido de forma simultánea. Esto puede lograrse mediante un sistema de cercos con Puerta Texas (puerta de una vía, como entrada) y Puerta Segregadora con Identificador (para separar al rebaño de acuerdo a los días de lactancia de cada animal, por ejemplo).

5.2.4.- Análisis de Comparación y Contraste: Sistema de Pastoreo v/s Sistema Estabulado en Ordeña Automatizada

Con la finalidad de consolidar y sintetizar la información presentada y recabada, se generó el siguiente cuadro.

Tabla 5.4: Cuadro Comparativo de Casos de Uso para el Robot de Ordeño

Concepto	Sistema Estabulado	Unidad	Sistema Pastoril	Observaciones
Potencia Eléctrica	3,5	[kW]	3,5	
Consumo de Agua	16	[Litro/minuto]	16	
Dosificación de Concentrado	2 – 8	[kg/día-vaca]	1 – 4	Depende de la genética del rebaño
Tiempo Ocioso del Sistema	10%	-----	~15%	
Aporte lácteo	20 – 50	[litro/vaca-día]	12 – 30	
Promedio de ordeños	3 – 3,3	[ordeño/día]	1,8 – 2,8	
Tiempo de Ordeña	6 – 15	[minuto/vaca]	4 – 10	Estimación del Fabricante
Tiempo entre Ordeños	< 9	[hora]	9 – 16	Depende de la extensión de los potreros para S. Pastoril
Máximo N° de Robots en un edificio	40	[robot]	12	Más de 12 Robots en un sistema pastoril implica que el predio es demasiado grande para que las vacas viajen hacia la lechería

Fuente: Elaboración Propia, basado en Manual de Servicio de la Maquinaria

Pese a que el Sistema Pastoril presentaba, en general, indicadores de menor rendimiento o menos eficientes, se configuró de todas formas como una opción rentable y conveniente para los agricultores con superficie disponible en sus campos, pues el rebaño se encargaba de recolectar y cosechar su propio alimento, en contraposición con el Sistema Estabulado en donde se debe utilizar maquinaria pesada para cosechar y almacenar ensilaje o forraje y suministrárselo a los animales dentro del edificio, con otra herramienta mecánica. Esto incrementaba de forma importante los costos energéticos y de insumos asociados a la explotación lechera. El sistema estabulado es, básicamente, una “apuesta” a generar un gran volumen lácteo, pero con un margen por litro reducido y menos generoso.

El sistema de pastoreo podía ser visto en países en donde, por normas de calidad o legislación, se privilegió más generosamente la cantidad de sólidos por unidad de volumen en la leche, más que por la cantidad de leche producida. En un escenario de este tipo, la cantidad de ordeños diarios perdía peso como medida de eficiencia y el productor se enfocaba en la obtención de una pradera con césped de mayor calidad, de forma tal que el proceso “De la Pradera al Vaso” sea más rápido y efectivo. La dosificación de concentrado en este escenario también se reduce pues una parte importante de los sólidos de la leche se daban por la ingesta de pasto en vez de concentrado. Además, una parte del aporte energético del concentrado es dedicado por el animal a trasladarse por los potreros hasta la sala de ordeño. Se desea que el animal deje la menor cantidad de pasto por potrero, para así rebajar costos por alimentación en la sala. Es un enfoque de menor producción, pero mayor margen por litro.

5.4.1.- Levantamiento de Requerimientos para Productores Chilenos

5.4.1.1.- Estudio Piloto

En tanto la realidad chilena, se realizó una especie de “Estudio Piloto” durante el mes de Julio de 2013, en donde se realizaron visitas a diferentes predios lecheros de la zona de Puerto Varas, Purranque y Reumén, además de asistir a una junta de un Grupo de Transferencia Tecnológica (GTT), dando a conocer el robot de ordeño y sus especificaciones técnicas, sondeando además el interés que los productores presentes mostraban frente a la oferta. Durante la ronda de visitas, realizada durante tres semanas del mes, 9 de cada 12 productores se mostraron interesados, de los cuales 6 poseían predios relativamente pequeños con menos de 200 vacas. De estos nueve productores lecheros interesados, dos sostuvieron entrevistas, charlas técnicas y autorizaron visitas a sus lecherías tradicionales con el equipo asesor de la empresa chilena y agentes de la firma holandesa para realizar un catastro del estado de las instalaciones existentes y de los requerimientos en un eventual proyecto de sala lechera robótica.

5.4.1.2.- Primer Predio

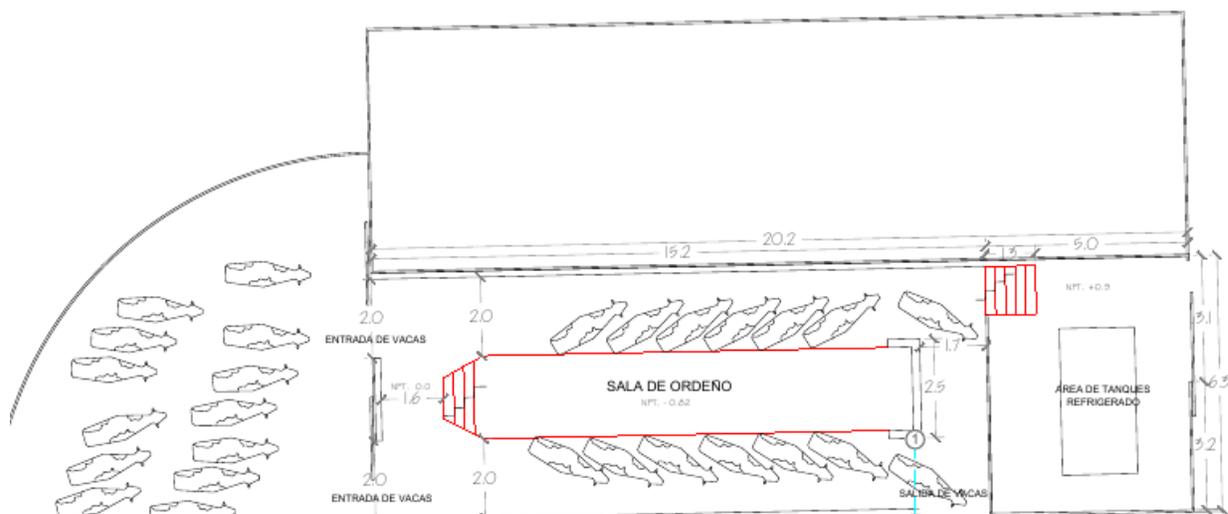
El primer predio visitado está enclavado en la zona campestre aledaña a Reumén en la Región de Los Ríos. Este campo posee 240 vacas, con una capacidad de expansión futura de hasta 300 animales, según el dueño calculó en concordancia con la superficie disponible. La genética de los animales es Jersey cruzada con Kiwi, con una producción promedio de 16 kg por vaca al día, con un máximo de 24 kg de leche por vaca al día con dos ordeños diarios.

La lechería que disponía el productor era una sala convencional con veinticuatro puestos en un esquema de “espina de pescado”, dispensando una cantidad de concentrado fija, con un solo estanque de leche.

El punto de ordeña se localizaba muy cerca al centro del predio, lo que facilita el manejo de los potreros para realizar la separación del rebaño en grupos. Según la capacidad conservativa del robot de ordeño para el sistema de pastoreo, dicho predio requiere de cuatro estaciones robóticas y eventualmente de una quinta si llegasen a la meta de 300 animales en el predio.

El manejo de este campo es realizado mediante franjas semi permanentes en época de primavera a verano, en donde se da la máxima producción de césped en la pradera. Para la época de invierno se utiliza ensilaje y, para hacer más sencilla la tarea de alimentación se utilizaba un Patio de Alimentación, poblado únicamente durante los meses de invierno y, cuando las condiciones son adversas, también en otoño.

Figura 5.9: Sala de Ordeño Tradicional del Predio



Fuente: Elaboración Propia en colaboración con Frio Master Ltda.

Durante el diagnóstico, el agricultor señaló que ordeñaba dos veces al día y que, además, concentraba sus partos de forma estacional a razón de 70 por ciento durante los meses de primavera y un 30 por ciento durante el resto del año alimentando a los terneros con calostro. Este es un dato que fue considerado para el levantamiento las propuestas para su nueva sala de ordeño robótico, pues las necesidades por calostro son mayores en este predio, debido a la estacionalidad con que los partos son ejecutados. Dicha necesidad debe ser cubierta por una configuración especial en las unidades robóticas.

El proceso de ordeño ejecutado no reviste ninguna alteración ni modificación en referencia al lechado tradicional en salas de este tipo. En cada puesto se le dispensa una misma cantidad de concentrado a cada animal mientras es ordeñado. Dicho concentrado es almacenado en sacos, los que son vaciados en tolvas y luego dispensados mediante el accionamiento manual de una válvula mariposa de cuatro paletas.

Finanzas y Costos

La inversión inicial en un proyecto de esta envergadura es muy alta si se compara con productos sustitutos actualmente disponibles en el mercado de salas de ordeño en Chile, tales como Salas Tradicionales tipo Espina de Pescado o Salas Rotativas. Más del 80 por ciento del costo total de la implementación del proyecto corresponde al ítem de las Estaciones Robóticas (Unidad Central más Unidades Robóticas).

Tomando como ejemplo la situación del pastoreo automatizado en Irlanda, el costo de operación más importante dentro de proyectos robóticos, corresponde al dispensado de concentrado a los animales (55 por ciento) seguido del costo energético (28 por ciento).

5.4.1.3.- Segundo Predio

El segundo predio visitado y evaluado está localizado en la zona de Ensenada, Región de Los Lagos. Poseía una lechería tradicional que ordeñaba a 90 vacas (aunque el campo disponía alrededor de 110 vacas-masa). La superficie del campo tenía la capacidad de alojar a 150 vacas lecheras, meta que ya se había propuesto el agricultor.

Figura 5.10: Fachada del edificio de la Sala Tradicional.



Fuente: Elaboración Propia.

La sala se auto abastecía de energía eléctrica gracias a una pequeña central hidroeléctrica que se encontraba en el predio y que es de propiedad del agricultor. La distribución espacial de la sala se asemeja en gran medida al lay out utilizado para lecherías robóticas. Posee una sala de espera (pre lechado) con superficie suficiente como para alojar al rebaño completo; la sala propiamente tal posee seis puestos paralelos en donde cada vaca debe subir un escalón de 50 cm para ser ordeñada. Los comederos son llenados mediante una válvula mariposa cuatro paletas que deja caer una mezcla de concentrados desde una tolva en el segundo piso del edificio. Una vez finalizado el ordeño, las vacas abandonaban el lugar por la parte posterior del edificio de vuelta a los potreros.

Figura 5.11: Dos Puestos paralelos en sala tradicional.



Fuente: Elaboración Propia.

El aporte diario de los animales se encontraba alrededor de los 18 kg de leche al día por vaca con un máximo histórico de 24 kg. El conteo de células somáticas era de unas 150 mil células por mililitro de leche; dicho conteo era mayor en este rebaño principalmente porque el edificio en donde se aloja la sala de ordeña está construido en madera. La madera en bruto es capaz de alojar la bacteria *Staphylococcus Aureus*, que entre otras enfermedades, es la precursora de la Mastitis en bovinos. Esto induce al rebaño a presentar una mayor frecuencia de enfermedades y, por ende, un mayor Conteo de Células Somáticas.

El rebaño era de una genética propia del agricultor, siendo inicialmente Holstein Roja pura y Holstein Frisona las especies utilizadas, para luego ir dando lugar a vacas de menor tamaño como Kiwis.

La sala de ordeña se localizaba en el sector norte del predio. El potrero más lejano hasta el punto de ordeña se encuentra a 1,4 kilómetros de distancia, trayecto que los animales en sistemas de pastoreo robóticos de otros países caminan sin problema. Con ciertas similitudes al Modelo Irlandés de Pastoreo, el manejo en este predio se caracterizó por la fijación de franjas con cercos eléctricos desmontables y segregación según etapa de lactancia. La dosificación de concentrado es ejecutada con producto en bruto (materia prima), sin agentes aglomerantes ni formados para facilitar la absorción de nutrientes

5.4.2.- Evaluación del estado de las Instalaciones, del plantel animal y de los potreros del predio

Luego de haber revisado y realizado las mediciones pertinentes a los puntos de ordeña y a la estructura del predio en cuestión, se procedió a levantar propuestas que dieran respuesta a los requerimientos planteados por los agricultores, compatibilizando ésto con las especificaciones del robot de ordeño.

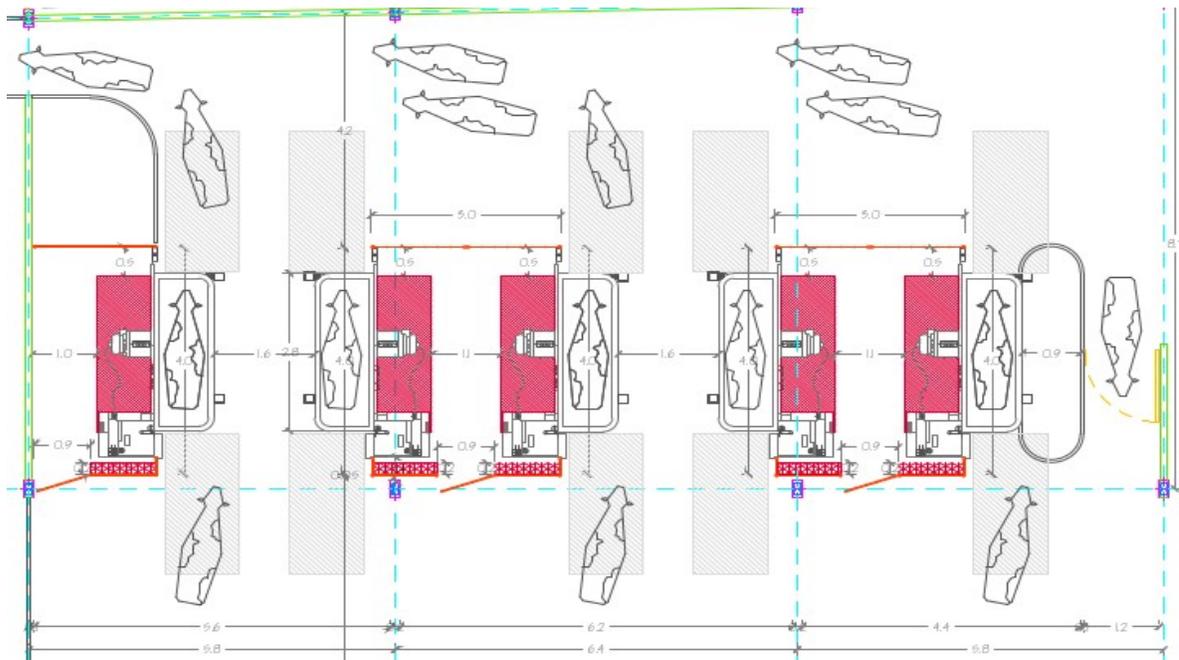
5.4.2.1.- Primer Predio

El punto de ordeña se encuentra muy cercano al centro del predio, lo que facilita el manejo de los potreros para realizar la separación del rebaño en grupos. Según la capacidad conservativa del robot de ordeño para el sistema de pastoreo, dicho predio requiere de cuatro estaciones robóticas y eventualmente de una quinta si llegasen a la meta de 300 animales en el predio.

Se le ofrecieron tres alternativas de distribución de planta, de diferente índole al productor: Utilizar la sala de ordeña existente, construir un nuevo cobertizo en las afueras del punto de ordeño o utilizar el patio de alimentación disponible como sala de ordeño, inclinándose éste por utilizar el espacio en su sala existente. Cabe destacar que las vacas del rebaño poseen un Conteo de Células Somáticas óptimo (alrededor de 100 mil) y con algunos animales rindiendo a 30 mil células por mililitro de leche, lo que convierte a este campo en uno de los que mejor performance en salud se registra en el sur de Chile.

La Unidad Robótica tiene como dimensiones 227 cm x 334 cm x 237 cm y se debe tener el resguardo de instalar en un espacio tal que deje al menos 6 metros de largo antes del ingreso al robot y al menos 4 metros de largo después de la salida. Esto es una especificación del fabricante en base a lo estudiado en predios de Nueva Zelanda. Se ha determinado que con ese espacio se evita todo tipo de atochamiento o bloqueo de tránsito si una vaca de alto rango se detiene frente, o detrás de la Unidad Robótica.

Figura 5.12: Elevación proyectada de planta de 5 estaciones robóticas en sala existente.

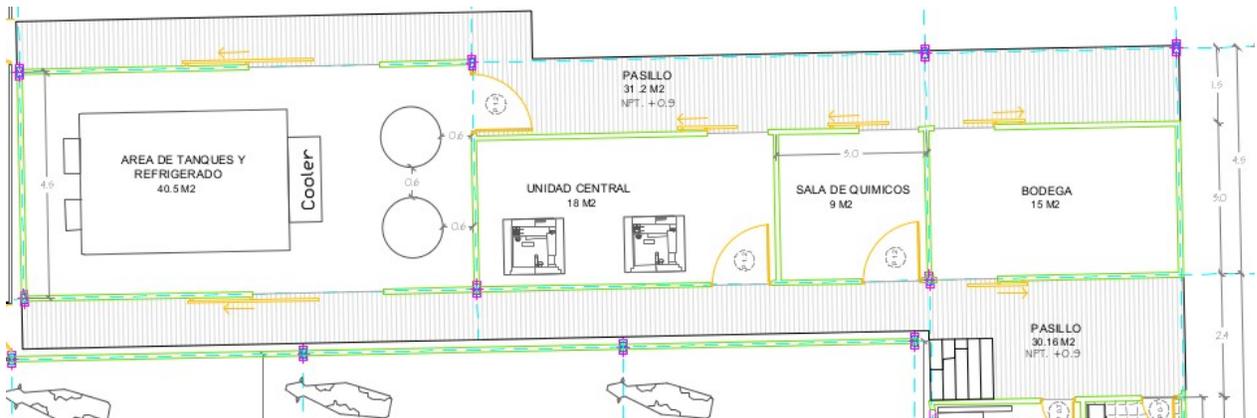


Fuente: Elaboración Propia en colaboración con Frio Master Ltda.

Seguindo las especificaciones del fabricante, la distribución espacial de la lechería debe tener los robots en paralelo y apostados llenando el espacio de la sala de forma tal que la vaca que quiera salir a pradera, tenga que pasar sin elección por el robot pero a su vez, resguardando el libre tránsito del animal por los demás espacios de la sala. Utilizando el collar identificador, el robot decidirá si ordeñar, dejar ir al animal o enviarlo a una zona dedicada al área de tratamiento veterinario; todo de forma automática.

El espacio que ocupa el gabinete y la parte posterior del brazo (área sombreada roja) debe ser un área limpia al que los animales no tengan acceso, pues además de ser el área desde donde el robot debe operarse, también se utiliza para realizar la mayoría de los trabajos de mantención sobre la máquina. En el caso de este proyecto, las Unidades Centrales se encuentran localizadas en una habitación separada de la sala, todas las conexiones de las líneas se proyectaron a través del muro de dicha habitación utilizando un schaft y un canastillo. Las líneas de leche (2) que salen del gabinete de la Unidad Robótica, penden del techo y van directamente a la sala del estanque en donde es llenado a través de la válvula de retención de la parte inferior.

Figura 5.13: Elevación de Planta de Sala del Estanque y Unidades Centrales



Fuente: Elaboración Propia en colaboración con Frio Master Ltda.

En términos de infraestructura física, un proyecto de este tipo fue estimado con un tiempo de ejecución de aproximadamente tres meses, en donde se contemplaron tareas tales como:

1. Demolición de pavimento, muretes y techo.
2. Excavación y preparación de fundaciones para Silos de Concentrado.
3. Preparación de mezcla y hormigonado con pendientes requeridas.
4. Reconstrucción de muros y techo con una altura de 4 metros y una pendiente del 3 por ciento para evacuado de aguas lluvias.
5. Modificaciones al sistema eléctrico, contemplando un transformador de mayor capacidad, líneas y enchufes trifásicos
6. Modificaciones al suministro de agua para suministrar a la unidad central con el suficiente volumen y presión.
7. Instalación de una red Ethernet con salida a internet (requerido para el correcto funcionamiento del software de gestión de rebaño en el servidor)
8. Emplazamiento de las Unidades Robóticas y Centrales en sus lugares definitivos.
9. Instalación de Silos de Concentrado con motores eléctricos y sinfines para el transporte de producto.
10. Instalación del cercado para los animales
11. Conexiones entre los equipos y hardware, testeo y puesta en marcha.

Sistema de Estanques Múltiples

El agricultor ha demostrado su necesidad de recolectar Calostro (leche que se le suministra a los terneros recién paridos). El fabricante del Robot de ordeño, poseía dentro de su catálogo un rack de cuatro cubetas de veinte litros cada una, conectadas directamente al robot y accionadas neumáticamente, que pueden ser utilizadas para separar calostro de leche consumible por humanos. Sin embargo, debido a que el agricultor concentra sus partos en una razón de 70/30 (es decir, 70 por ciento en un período de un mes y el 30 por ciento restante durante el año), dicho equipo no será suficiente para abastecer del calostro en la magnitud de volumen requerido; el catastro que el dueño del predio entregó es de 400 litros de calostro por día.

Otro requerimiento que se dio a conocer por este productor es que, según el contrato que sostiene con la empresa recolectora de leche, el camión cisterna pasa una vez por día a vaciar su estanque. Es muy probable que el procedimiento de vaciado se de simultáneamente con las unidades robóticas ordeñando. El Tablero de Sincronización de Lavado tiene la capacidad de detener las labores de ordeña de todos los clústeres de robots si el estanque de leche está siendo vaciado, sin embargo, el productor entrevistado no está dispuesto a asumir dicha situación. Se le propuso un sistema de tres estanques, con dos líneas de leche que dan respuesta a sus requerimientos:

1. Estanque Predial Principal: Estanque de leche en donde toda la leche consumible va a parar. Este estanque es el de mayor capacidad y se conecta a la línea de leche principal a través de la última entrada de la tercera válvula de tres vías en cada robot (por motivos de seguridad).
2. Estanque de Calostro: Estanque de menor capacidad (600 litros) y sin unidad de enfriamiento. Está directamente conectado a la línea de leche secundaria a través de la segunda válvula de tres vías. Esta leche nunca entra en contacto con la línea de leche principal.
3. Estanque Amortiguador (Buffer): Cuando el procedimiento de retiro de leche se inicie, el Tablero de Sincronización de Lavado tiene la capacidad de controlar válvulas neumáticas instaladas en la línea de leche llegando al estanque, para derivar la leche destinada al estanque principal hacia un estanque pequeño (usualmente de un 10 por ciento de capacidad respecto del estanque principal) que recibirá la leche consumible hasta que el estanque principal se haya vaciado y la alarma correspondiente en el gabinete se haya desactivado (en países europeos, es el conductor del camión quien debe activar y desactivar la alarma). El estanque amortiguador usualmente no posee unidad de frío, pues las estadísticas dictaminan que la leche estará en dicho estanque por menos de una hora. Una vez que el estanque principal ha sido vaciado y su lavado ha finalizado, la leche existente en el estanque amortiguador viaja al estanque principal a través de una línea de conexión entre ambos recipientes por gravedad.

Requerimiento Energético y Generación

La sala de ordeña no se detenía durante las noches. Todos los equipos de la sala deben permanecer energizados en caso que una vaca llegue a la sala para ser ordeñada. Por el gran consumo de energía que una sala de ordeña automática con cinco robots supone, se debió contemplar en el diseño del proyecto una amplificación de la capacidad en la tensión eléctrica y la instalación de un generador de corriente a petróleo que entre a la red eléctrica en sincronismo con la red del Sistema Interconectado Central con la ayuda de un Partidor Suave (no existirá cambio en el Amperaje y Voltaje fluyente en la sala de ordeño, por lo que no existirán detenciones), pues no es posible mantener un nivel de consumo de energía de esta magnitud en el Sistema Interconectado durante ciertas horas del día sin pagar una cantidad fuerte de dinero a la empresa proveedora, esto varía dependiendo del tipo de tarifa que se tenga contratada y del emplazamiento del predio. El caso particular del productor dueño del campo es el de un Cliente Regulado, cuyo cargo en Hora Punta es calculado sobre la base del consumo máximo entre las 18 h y las 23 h según el plan de suministro que la empresa proveedora de energía le ofreció (Baja Tensión 1). Mantener activadas las unidades robóticas en dichas horas aumentará explosivamente el costo de operación y el proyecto podría ver comprometido su rendimiento y rentabilidad.

Las Unidades Robóticas y Centrales poseen, cada una, una batería que suministra energía por unos minutos, suficiente autonomía para abortar las labores de lechado, cerrar procesos internos de la red local de la sala y enviar alarmas al agricultor antes de apagarse en caso de cortes de energía.

5.4.2.2.- Segundo Predio

Considerando los antecedentes antes entregados, se levantó una propuesta de sala robótica que dio respuestas, correctivas y paliativas, a los problemas que este predio presenta. La cantidad de Estaciones Robóticas para este cliente es de dos Unidades Robóticas y una Unidad Central. Al igual que el primer predio analizado, concentra sus nacimientos en una razón de 70/30, por lo que también se contempló un estanque de calostro, aunque de menor capacidad (300 litros) y, como su leche es retirada una vez cada día, también requiere de un estanque buffer.

La máxima distancia que los animales deben caminar asciende a 1,2 km. Pese a ser una distancia considerable, se estimó que la adaptación del rebaño al sistema robótico sería más rápida de lo usual, pues los animales ya se encontraban acostumbrados a ser lechados en un sistema de puestos individuales y paralelos. Granjeros lecheros en Irlanda han reportado que el rebaño se suele adaptar en un par de semanas al nuevo sistema, con lo que el programa de adaptación diseñado por el fabricante del equipo podría verse reducido en gran medida.

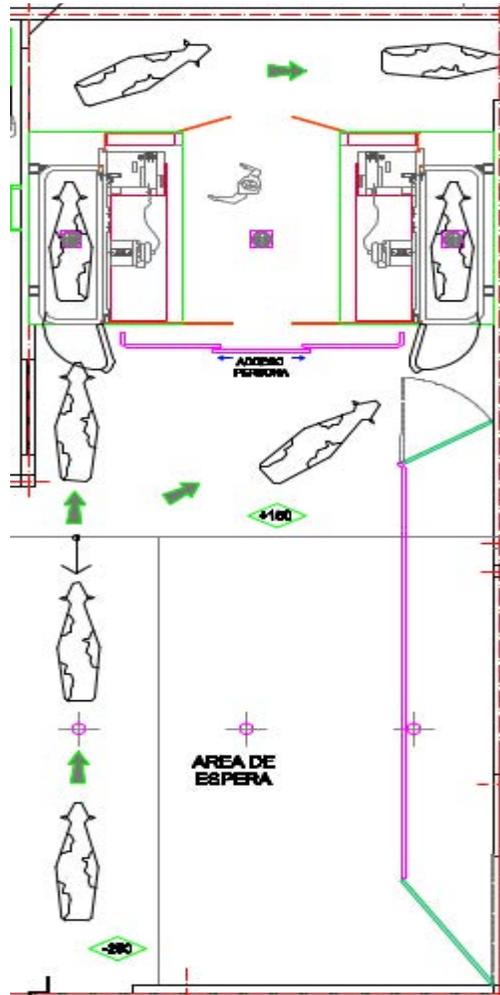
Al igual que su símil en Reumén, este proyecto no reviste mucha complejidad en el ámbito energético, debido a que se disponía de una pequeña central hidroeléctrica de paso que era capaz de abastecer la sala de ordeño tradicional, el estanque enfriador de leche y los equipos conexos al punto de ordeña.

En cuanto a la infraestructura física, este proyecto se estimó con un tiempo de ejecución de aproximadamente dos meses, en donde se contemplaron las siguientes tareas:

1. Demolición de pavimento y muretes.
2. Preparación de mezcla y hormigonado con pendientes suavizadas para los puestos de ordeña.
3. Reconstrucción de muros y techo con una altura de 4 metros y una pendiente del 1 por ciento para evacuado de aguas lluvias.
4. Modificaciones al sistema eléctrico, contemplando líneas y enchufes trifásicos.
5. Modificaciones al suministro de agua para suministrar a la unidad central con el suficiente volumen y presión.
6. Instalación de una red Ethernet con salida a internet.
7. Emplazamiento de las Unidades Robóticas y Central en sus lugares definitivos.
8. Instalación de tornillos para transportar concentrado desde las tolvas existentes.
9. Instalación del cercado para los animales.
10. Conexiones entre los equipos y hardware, pruebas y puesta en marcha.

Considerando la importancia de la sanidad y bioseguridad de los predios en el aseguramiento de la calidad del producto vendido, la construcción de esta nueva sala fue emplazada en las afueras de la instalación existente, y utilizando materiales modulares, como paneles y estructuras metálicas para las soportaciones, proveyendo de esta forma una superficie segura, durable y de fácil lavado.

Figura 5.14: Propuesta de Nueva Sala con 2 Estaciones Robóticas



Fuente: Elaboración Propia en Colaboración Frio Master Ltda.

5.5.1.- Generación de Flujos de Caja

5.5.1.1.- Pormenorizado de Costos

Considerando los requerimientos que se deben satisfacer, se procedió a levantar un itemizado de los costos asociados a la adecuación y/o construcción de un espacio apto para un proyecto robótico, permitiendo éste la operación correcta del sistema y un desempeño óptimo en las condiciones que un Sistema bajo Pastoreo presenta. Considerando la regulación impositiva existente al momento de la investigación, se consideró un impuesto corriente de primera categoría por el 20% de las Utilidades.

Construcción de la Edificación

La construcción del edificio que alojará la sala de ordeña es muy sencillo; basta con un cobertizo (loza de hormigón pobre y muro y techo de un material durable) que asegure un espacio de trabajo seco y limpio para el operador, aislándole el acceso a los animales. Deben también existir sumideros y redes de evacuación de aguas, purines y orina de los animales aunque estos últimos pueden considerarse como opcionales si se piensa que existirá una persona retirando los desechos de la sala.

El hormigón utilizado en la loza debe ser capaz de soportar el peso del robot más el peso del animal dentro del box, además de las pendientes necesarias para guiar las aguas de lavado del robot hacia los sumideros locales.

Instalación y Suministro Energético

Se privilegia el uso de potencia trifásica (380 Volt, 220 Volt por fase) por ser una red mucho más estable y confiable que la corriente monofásica en Chile. Se deben tener además tres tipos de salida a tierra (Unidad Robótica, Tablero Eléctrico y Edificación). Cada unidad central (suministrando poder a dos unidades robóticas) consume 7 kWh y 16 Amperes, los cables conductores deben ser de cobre de 2,5 mm² escudado para evitar interferencia entre el suministro de corriente y la comunicación electrónica entre dispositivos.

Suministro de Agua

El suministro de agua debe tener una presión mínima de 2 bar y un caudal de 16 litros por minuto, con una temperatura mínima de 5 °C y suministro separado para el agua caliente. Dicha agua es utilizada en los sistemas de lavado de las pezoneras, cepillos y líneas de leche para evitar contaminación. Se asume que en lecherías tradicionales ya se cuenta con este suministro por normativa.

Aire Comprimido

Se debe suministrar aire comprimido a 7 bar para cada Unidad Central (dos Unidades Robóticas). Debe ser libre de aceite pues ese mismo aire es utilizado para bombear leche fuera del vaso del robot y para insuflarlo en la línea con la finalidad de vaciarla. El fabricante del equipo recomienda y provee equipos de marca Atlas Copco, de tipo tornillo.

Concentrado y Nutrición Animal

La base del incentivo para que el animal visite la sala de ordeña por sus propios medios es el concentrado que se le dispense cuando se vaya a ordeñar. En salas de ordeño tradicionales, el ítem de alimentación puede llegar a acaparar el 80 por ciento del costo de operación del predio (considerando concentrado y forraje cuando el pasto escasea). La utilización de un Silo de Concentrado con un tornillo motorizado se privilegia, para transportar el producto hasta la unidad robótica.

El fabricante del equipo recomienda que, en Sistemas de Pastoreo, se suplemente una cantidad menor de concentrado respecto de Sistemas Estabulados, pues en el primero, se obtiene una producción menor, pero un mayor margen por litro de leche. En contraposición, el Sistema Estabulado apuesta por una producción alta, pero con mayores costos y menor margen.

5.5.1.2.- Potenciales Ingresos

Los potenciales ingresos monetarios que podrían percibirse de la utilización de una estación robótica en una sala de ordeño vienen de la mano de una mayor producción láctea con mayor calidad, dado por el reducido nivel de estrés del animal al no tener que ser arreado ni hostigado para pasar al punto de ordeña, un diagnóstico de enfermedades temprano y la gestión en la alimentación y suplementación de concentrado acompañado además del manejo de grupos por etapa de lactancia.

Se ha comprobado que, gracias a los sensores presentes en la línea de leche al interior del brazo robótico, la consistencia en la calidad de la leche se incrementa, previniendo que producto contaminado o con calidad insuficiente ingrese al estanque principal. Existen además, otros equipos conectados a la misma red de trabajo que pueden aumentar aún más la performance de un predio lechero robótico, tales como alimentador de terneros, dispensador de concentrado extra y puertas segregadoras con identificación. El fabricante estima que el aumento en la producción lechera del rebaño está entre un 5 a un 15 por ciento utilizando el último modelo, con una gestión de grupos adecuada y un manejo de la alimentación correcto.

5.5.1.3.- Reducción de Costos, Ahorros y Beneficios

Dado que el sistema de ordeña corre en continuo, ordeñando una cantidad reducida de leche en relación con una lechería tradicional, la capacidad frigorífica del estanque enfriador de leche puede reducirse, tanto en potencia como en tiempo de utilización, ahorrando energía y mantenciones al equipo frigorífico y a los compresores involucrados.

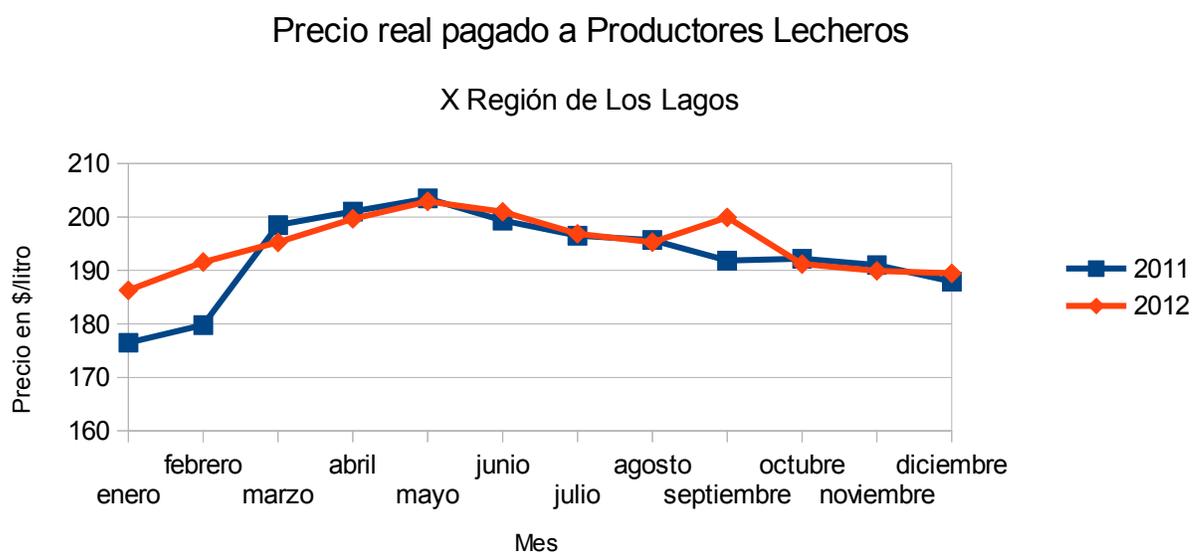
Dadas las características específicas del equipo de ordeño robótico, el agua requerida para mantener partes en contacto con la leche, se ve reducido hasta en un 50 por ciento respecto de salas tradicionales y rotativas, pues una unidad robótica (un solo box) puede ordeñar a 75 vacas en un sistema de pastoreo, mientras que para lograr lo mismo con una sala tradicional se requieren 8 boxes (puestos de ordeña).

El más grande ahorro de recursos viene dado por la reducción de horas-hombre requeridas para gestionar el campo lechero. Dependiendo del nivel de sueldo, la cantidad de personas requeridas y el nivel de automatización planteado, este ahorro podría ser mayor o menor dependiendo del caso; se sabe que la acción de ordeñar en sí, constituye el 40 por ciento del tiempo de trabajo del ordeñador, aunque el fabricante del equipo toma resguardos y plantea un ahorro de un 29 por ciento en horas hombre requeridas. Por otra parte, los beneficios no-económicos de utilizar una sala de ordeño robótico están dados por un mayor tiempo libre, tanto para los trabajadores de la explotación, como para el dueño de la misma. Pudiendo aumentar aún más el margen obtenido por litro de leche producida, se puede hacer frente con mayor facilidad a la volatilidad del precio de la leche que se mantiene fluctuante entre cada periodo a la vez que se facilita el proceso de reclutamiento de personal (cuando proceda) al existir una mayor flexibilidad horaria y un trabajo de menor intensidad y exigencia.

5.5.1.4.- Rentabilidad y Fluctuaciones de Mercado

La rentabilidad de una explotación lechera está enlazada muy estrechamente al precio de venta de la leche. Es tal su importancia, que dependiendo de su fluctuación, la demanda por sistemas de ordeño robóticos se podría verse muy afectada. Si el precio de venta aumenta, el margen que los agricultores verán por la venta de su producto será mayor, otorgándoles una liquidez incrementada y haciendo más plausible y rentable la instalación de una estación robótica.

Gráfico 5.1: Evolución del Precio de la leche durante los años 2011 y 2012 para la Región de Los Lagos



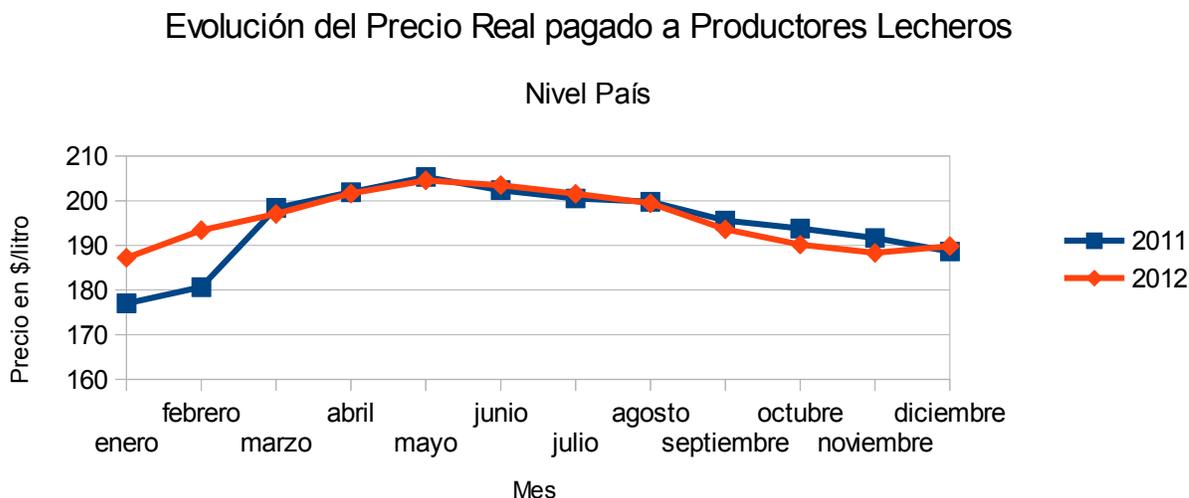
Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Boletín de la Leche, 2012. ODEPA.

El precio de la leche se reajusta con una periodicidad mensual y varía de un productor a otro, dependiendo de la zona geográfica que se escoja para el análisis. Dentro de este experimento, se tomó como referente a la Región de Los Lagos, por ser la zona con mayor producción lechera del país con más de 970 millones de litros, seguida por la Región de Los Ríos con 640 millones de litros⁶, si se analiza este indicador de forma mensual durante los últimos dos, es posible visualizar un comportamiento estacional en el precio del producto, aumentando en los meses de otoño e invierno. Al realizar una regresión lineal se observa un coeficiente de determinación muy pobre.

6 Fuente: Boletín de la Leche, Año 2012 - ODEPA

El coeficiente de determinación para los datos del Año 2011 y 2012 es de 0,028 y de 0,0065 respectivamente al ejecutar una regresión sobre la muestra; con lo cual se optó por utilizar un estadígrafo de tendencia central en vez de una proyección de ventas: El Promedio Anual. Para idear los escenarios en los respectivos flujos de caja, se utilizó también la Desviación Estándar de la muestra. En cuanto al Escenario Chileno, la fluctuación de precios quedó evidenciada en el gráfico siguiente.

Gráfico 5.2: Evolución del Precio de la leche durante los años 2011 y 2012 a nivel País



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Boletín de la Leche, 2012. ODEPA.

El coeficiente de determinación a nivel país del precio de venta de la leche para el año 2011 fue de 0,04 respecto de la curva de regresión y de 0,06 para el año 2012.

Si se opta por revisar datos de años anteriores, se observa un leve aumento en escalas de tiempo más globales; esto hace presumir que el precio de la leche ve su reajuste de acuerdo al equilibrio macro económico del país, también escuchando al mercado mundial, el que también tiene injerencia sobre los precios de venta nacionales.

Con el afán de crear un modelo de evaluación de proyecto en el ámbito financiero, se consideró un precio de venta de leche de \$196 por litro pagado al productor lácteo en base al procesamiento de las bases de datos disponibles. El reajuste de dicho precio se calculó en base a la desviación estándar de la muestra, lográndose un reajuste anual del 3,21 por ciento al alza. No se consideraron escenarios adversos en términos de reducción excesiva de precio real pagado a productores lecheros, pues datos históricos señalan que fenómenos como estos son muy raros.

5.5.1.5.- Análisis Financiero de Caso

Se optó por tomar un campo de características similares al Segundo Predio estudiado en este informe. Un plantel de 100 vacas en leche, con un aporte lácteo de 6 mil litros de leche por vaca al año, lo que implica que el rebaño posee una genética esencialmente basada en Jersey. En este campo se deben emplear tres operarios para las labores de ordeña, limpieza, muestreo de leche, arreo, partos y alimentación del rebaño y crías. Considerando además, el emplazamiento del predio y las condiciones de operación, se planteó dentro de los flujos de caja, la construcción de un nuevo galpón para alojar la nueva estación robótica.

Se construyó un modelo con tres casos y seis flujos de caja (Proyecto Puro e Inversionista): Un escenario optimista y más probable para la inversión en un Sistema de Ordeño Robotizado de dos estaciones puesto en predio e instalado. El tercer escenario es el statu quo (continuar con la lechería tradicional, en un escenario probable). Todos los flujos de caja poseen un horizonte de evaluación de ocho años, tiempo en que se amortiza por completo la deuda adquirida para financiar el proyecto. En el aparatado de costos, se tienen los siguientes parámetros y valores.

Tabla 5.5: Detalle de costos utilizados en flujos de caja

Area	Item	Cantidad	Unidad	Observación
Costos	Precio Proyecto 2 Robot	250.000	€	Aprox. Puesto en Predio
	Precio Proyecto Sala 2x8 puestos	125.000	USD	
	Sueldo Operario	450.000	\$/Operario	
	Número de Operarios	3		
	Costo kWh	65	\$/kWh	
	Consumo Eléctrico lechería tradicional	100	kWh/día	
	Costo m ³ de agua	1100	\$/m ³	Costo para la Región de Los Lagos, agua potable
	Consumo de agua Sala Tradicional	328,5	m ³	Factor de consumo en FCL para Robot
	Reajuste anual precio agua	4,00%		
	Costo Concentrado Animal	150	\$/kg	
	Costo en Forrajeo	22	\$/litro de leche	
	Suplementación de Concentrado	2,5	kg/vaca	
	Costo en Tratamiento Veterinario	8,4	\$/litro de leche	
	Bono por Litro de Leche Extra trabajadores	5	\$/litro de leche	
	Consumo eléctrico Sistema Robótico	76	kWh/día	
	Mantenimiento Sala Tradicional	3,5	\$/litro de leche	
	Mantenimiento Equipo Robótico	5000	€/año	Factor de costo por n° de ordeños aproximado
	Obras Civiles Sistema Robótico	\$15.000.000	\$	
	Precio Vaquilla	\$1.000.000	\$	
	Índice de Reposición	15,00%		Anual
Obras Civiles Sala Tradicional	\$35.000.000	\$		
Reajuste anual Precio Energía	2,00%		Estadística Anual INE	

Fuente: Elaboración Propia

Visto desde la óptica meramente financiera, el proyecto robótico para un predio de las características antes descritas, debería ejecutarse; si se mira los detalles del flujo de caja, sin embargo, se observa que el escenario más probable de la Sala Tradicional obtiene un Valor Actual Neto y una Tasa Interna de Retorno similares a los del proyecto robótico, pese a que el nivel de inversión en ambos casos difiere en casi un 100 por ciento.

A juicio del redactor, la evaluación financiera del proyecto robótico para salas de ordeña, es “un buen comienzo”, pues el rendimiento de la inversión es una materia sobre la cual los dueños de campos lecheros son exigentes y escépticos, sin embargo, es necesario evaluar de forma paralela las condiciones existentes de los potreros y la estructura del predio en donde se pretende instalar la maquinaria, además de considerar aspectos de índole técnica y agronómica que no están o podrían no ser apropiadamente representados en una evaluación económica de proyecto.

5.5.1.6.- Análisis Cualitativo de Caso

Pese a que en el análisis financiero anterior, la Sala Tradicional posee, tanto un VAN como una TIR más atractivas que en los casos robóticos considerando los diferentes niveles de inversión implicados, se crean consecuencias no-económicas ventajosas para el productor lechero que se encuentran ausentes en sistemas tradicionales de ordeño en donde existe mecanización de labores mediante maquinaria, mas no automatización. Dichas consecuencias no-económicas no pueden ser plenamente representadas en los flujos de caja, a saber:

1. **Mejora Sustancial en el Bienestar del Rebaño:** En sistemas de ordeño robotizados no existe necesidad real de supervisar ni arrear a los animales. Esto reduce el estrés del rebaño al poder ordeñarse libremente cuando cada animal quisiese. La adrenalina que se libera cuando el animal está estresado dificulta la salida de leche y merma la producción del animal.
2. **Mejor Salud en la Ubre de la vaca:** Dado que el rebaño se ordeña múltiples veces cada día, la ubre nunca se llena, eso reduce el estrés sobre esa parte del cuerpo del animal, estimulando la producción y aumentando la longevidad del animal; en predios irlandeses con sistemas de ordeño robotizado, cada vaca puede llegar a dar a luz seis veces, mientras que en Chile únicamente hasta cuatro con una moda de 2,5.
3. **Diagnóstico de Enfermedades Oportuno:** El sistema de gestión del rebaño combina todas las lecturas de todos los sensores disponibles en la maquinaria para entregar diagnósticos acertados acerca de la salud de la vaca. Muchos otros sistemas de detección se basan en las lecturas de un solo indicador, lo que induce a una mayor cantidad de falsos positivos o negativos.
4. **Control Real y de la Calidad de la Leche:** Utilizando los datos recolectados por los sensores es posible controlar y separar vacas que presenten indicadores anómalos con el fin de oportunamente ponerle freno a cualquier situación adversa. De la misma forma, la leche es monitoreada en tiempo real a medida que el animal está siendo ordeñado. Por ende, es también posible separar la leche que presente alguna impureza o no cumpla con los estándares de calidad establecidos por el dueño o personal a cargo.
5. **Mayor facilidad para encontrar mano de obra:** Con la automatización disminuyen las horas-hombre requeridas en el predio lechero, además, los trabajos a realizar son más ligeros, de índole más técnica como operar el robot para entrenar una vaca o vaquilla nueva, cambiar algunos filtros o monitorear el rebaño utilizando la base de datos en el computador central, para lo cual, un horario similar a un administrativo es requerido. No es más necesario utilizar varios turnos o jornadas de trabajo excesivamente extensas.

Por otro lado, pese a que ambos flujos de caja (Purista y del Inversionista) para el escenario más probable de la sala tradicional poseen unos índices más atractivos que sus símiles robóticos, se hace difícil asegurar que aún exista mano de obra disponible para la sala tradicional durante el horizonte de evaluación del proyecto; tal como se planteare en la presentación de la problemática, cada vez menos personas muestran interés por realizar un trabajo de ordeña en un predio lechero, por ende, existe la posibilidad de que la sala no pueda ser operada antes de finalizado su horizonte de evaluación.

Otro imponderable que no se encuentra representado es el impacto en la Reposición del Rebaño. Este ítem especifica la porción del rebaño que se desecha por distintos motivos (enfermedad grave, vejez de la vaca, cojera o daño severo a los huesos) y que es reemplazada con, usualmente, vaquillas preñadas de su primer ternero. Dependiendo de las características del predio, éste índice de reposición será mayor o menor; en los Flujos de Caja anteriores se consideró una reposición del rebaño de un 15% anual. Dicho índice de reposición se verá disminuido en la medida en que el rebaño disponga de mejores condiciones de vida, proveídas por el Robot de Ordeño y el manejo que su instalación en el predio implica.

Las consecuencias del cambio podrían ser vistas y analizadas en escalas de tiempo mayores al horizonte de evaluación del proyecto utilizado en este trabajo, proveído por la mayor longevidad de la vaca. En condiciones adversas, éste ítem de costo puede llegar a convertirse en el tercero más importante dentro de la explotación lechera (sólo superado por la alimentación y la energía).

5.5.1.7.- Alternativas de Financiación del Proyecto Robótico

En el mercado financiero chileno actual, existe un número de productos financieros que pueden suponer una alternativa viable para que productores lecheros puedan financiar proyectos de ordeña robotizada, particularmente en la banca privada especializada con organizaciones tales como De Lage Landen o Rabobank (Holanda). Estas entidades ofrecen sus productos a los dueños e inversionistas de los predios lecheros usualmente a un plazo de entre 5 y 7 años y una tasa que puede variar entre un 4 por ciento y un 9 por ciento previa evaluación del predio, las instalaciones y activos existentes y las condiciones del rebaño por parte de la entidad fiduciaria, considerando a su vez, el monto solicitado.

Una segunda alternativa es recurrir a un contrato de Leasing, los bancos anteriormente mencionados también poseen una cartera de productos de esta índole. Para montos de inversión similares al caso planteado, se solicitó una cotización mensual, resultando en una propuesta de 60 meses (5 años) y una cuota mensual de unos 3 millones de pesos por el valor del proyecto, con opción de compra por el mismo monto de la cuota mensual al expirar el contrato de Leasing.

También existía una tercera alternativa, correspondiente al Crédito Bullet. Este crédito tenía la particularidad de pactar los pagos mensuales extinguiendo únicamente interés y pagando un cierto porcentaje del proyecto de antemano; generalmente un 20 por ciento, para luego, pagar el 80 por ciento remanente del proyecto al finalizar el compromiso. Era una nueva forma de financiación que estaba siendo introducida en Chile. En el pasado, era relativamente difícil obtener uno de estos créditos por sus requerimientos, sin embargo, las barreras de entrada se harían menos exigentes en la medida en que más bancos privados adoptasen esta modalidad de financiación a sus carteras de producto.

5.6.1.- Indicadores Operativos y Financieros para la empresa distribuidora en Chile

La empresa distribuidora oficial en el territorio chileno buscaba una forma de “tomarle el pulso” al mercado emergente que suponía la introducción de la Ordeña Robotizada en Chile; dado que el modelo de negocio de las mantenciones periódicas y preventivas se realiza en base al número de ordeños que la Unidad Robótica ejecute, se conforma un nexo entre la performance que el agricultor le pueda imprimir a su granja, y el potencial beneficio y rédito financiero para la firma chilena. Las mantenciones correctivas son vistas como “no rentables” porque éstas son muchas veces costeadas mediante garantías o contratos de mantención celebrados entre el distribuidor y el cliente y sus costos disueltos en los de operación; las tareas ejecutadas sobre la maquinaria implican largos trayectos a recorrer y un tiempo de trabajo corto, con lo que se adiciona un costo extra para la empresa y un incrementado costo de oportunidad para el área técnica.

Dado que la empresa distribuidora ha estado presente en el mercado chileno por más de 25 años, se propuso medir la eficiencia del nuevo mercado respecto de los nichos que ya se estaban explotando. Por esta razón se formularon indicadores que responden esencialmente a razones.

Tabla 5.9: Indicadores de Rendimiento de Negocio para Distribuidora

Indicador	Base de Cálculo	Observaciones
Porcentaje del negocio para clientes de robots	$\frac{\text{Facturación Robots}}{\text{Facturación Total}}$	Porcentaje de las ventas logrado de sistemas robóticos respecto de la facturación total de la firma
Ingresos por mantención preventiva	$\frac{N^{\circ} \text{Ordeños}}{20.000} \times \text{Tarifa}_{\text{fija}}$	El fabricante especifica que el robot debería ser mantenido cada 20 mil ordeños. Se cobra un monto fijo por cada ordeño o litro producido. El indicador se debe calcular para cada robot por separado

Fuente: Elaboración Propia

5.6.1.1.- Posibles Indicadores de interés para el Agricultor

Se sobreentiende que, considerando el nivel de inversión y las promesas del fabricante del equipo, los ratios de índole económica y financiera ocupen un peso importante a la hora de analizar el resultado del ejercicio del proyecto. Con la finalidad de establecer una base de cálculo simple para el cliente, todos los parámetros de la leche y el animal que el robot sondea permanentemente deben ser puestos en consideración pues las empresas que retiran la leche de los predios pagan bonificaciones por sanidad, cumplimiento de normativas, conteo de células somáticas, sólidos por unidad de volumen, punto de congelación y conteo bacteriano. También fue posible reconocer en el Estudio Piloto, un interés generalizado por conocer el estado del rebaño de forma individual con indicadores tales como Aporte Lácteo por Vaca, Número de Ordeños al Día, entre otros, para así determinar qué animales están siendo poco rentables para desecharlos.

Por fortuna, los indicadores operativos del rebaño antes mencionados vienen incluidos por defecto y pueden ser configurados según las metas del productor lechero en consultoría con personal especializado del distribuidor y del fabricante. Los sensores que monitorean la leche están dispuestos por cuarto, esto permite que la información en el Software de Gestión también sea visualizada en esta forma.

5.6.2.- Proyecciones de Venta y expansión del Robot de Ordeño a Nivel Sudamericano

Habiendo estudiado la realidad chilena de forma profunda, se buscó extrapolar dicho análisis en su forma cualitativa a otras economías productoras lácteas con volúmenes de producción relevantes de América Latina. Se analizó a cada país por separado en su propio ítem.

5.6.2.1.- Argentina

Al momento de la realización de este estudio, Argentina mostraba signos preocupantes en el número de vacas lecheras, la evolución del número de vacas lecheras en el país dejó un saldo negativo durante los últimos 4 años. Sin embargo, el número total de cabezas supera con creces el del mercado chileno. Además, una gran parte de sus rebaños se localiza en una superficie relativamente pequeña: Desde el Norte de la provincia de Santa Fe hasta la zona sur de Buenos Aires; similar a lo que ocurre con Chile, en donde más de un 80 por ciento de los rebaños lecheros del país se encuentra entre las regiones de La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Aysén. En concordancia con lo expresado por el Gerente del Zonal de América Latina de la empresa fabricante, la introducción del robot de ordeño para territorio argentino se vio pospuesta por inestabilidad política y un bloqueo económico del gobierno a la divisa del Dólar Estadounidense.

Tabla 5.10: Evolución del número de vacas lecheras en Argentina

	2008	2009	2010	2011	2011/ 2008
Vacas (cabezas)	1.783.833	1.808.951	1.749.010	1.690.581	-5%
Establecimientos	10.684	11.312	10.816	10.453	-2%
Cantidad de UP	11.301	11.446	11.576	11.282	-0,2%

Fuente: Lechería argentina, su estado actual y evolución (Sánchez, Carina et al. 2011)
dense.

5.6.2.2.- Brasil

La economía productora de leche más importante de la región sudamericana era Brasil, cuyos planteles lecheros se dividían en clústeres: El Noreste que contempló las provincias de Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Ceará y Bahía con 4.925.593 vacas lecheras al año 2011; el Centro-oeste abarcó las provincias de Goiás y Mato Grosso do Sul con 3.799.356 vacas lecheras al año 2011; el Clúster Sur abarcó las provincias de Rio Grande do Sul, Santa Catarina y Paraná con 4.140.257 vacas lecheras al mismo año y, finalmente, el Clúster Sureste que se enclavaba en la zona de Sao Paulo y Minas Gerais con 7.919.660 vacas lecheras al año 2011. Esto entregó un total de unas 20 millones 780 mil vacas lecheras. Debido al gran potencial lechero de la zona, no solo en términos de tamaño de rebaño sino que también por volumen producido en su Sistema Estabulado, Lely Industries decidió instaurar un centro de operaciones para darle caza al mercado de ordeño brasileño.

Los indicadores antes exhibidos de PIB y PIB Per Cápita con relativa estabilidad y crecimiento, reflejaron que la economía de Brasil presenta las condiciones aptas para la apertura del mercado de ordeño automatizado.

5.6.2.3.- Colombia

Según el Consejo Nacional de la Leche, la masa total de vacas lecheras en territorio Colombiano asciende a 770.960 animales. La particularidad de dicho mercado es que los rebaños se repartían de forma casi homogénea por todo el territorio, lo que dificulta la inserción exitosa de una empresa de ordeño automatizado, pues, al no existir una zona delimitada de consumidores, se deberían destinar mayores esfuerzos en una apertura exitosa del mercado que el nicho esconde.

5.6.2.4.- Perú

El plantel total de vacas lecheras en Perú asciende a 787.604, de las cuales unas 650 mil son exclusivamente lecheras y la diferencia de doble propósito (tanto lecheras como engorderas) con genética oscilante entre Holstein Pura, Holstein Frisona, Pardo Suiza y Jersey. La economía peruana muestra, igualmente, buenos signos de crecimiento y estabilidad en el tiempo. La limitante para abrir el mercado del ordeño robótico es el costo de producción de la leche, el que ascendía al doble respecto al mercado chileno. La alimentación de los rebaños peruanos es el principal limitante para que este nicho prospere y sea capaz de adoptar la maquinaria.

6.- Conclusiones

Los resultados arrojados por los diferentes análisis ejecutados, en sus niveles bibliográfico, económico, técnico y cualitativo resultan ser consecuentes con lo que puede ser visto en otros países en donde el modelo de Sala de Ordeño Robótica ha estado presente por varios años. La realidad chilena descrita propicia la introducción y comercialización de la maquinaria y presenta evidencias irrefutables de que las condiciones existentes en predios lecheros actuales son las adecuadas para la inserción y puesta en marcha de los equipos.

Los predios visitados que fueron descritos en este trabajo, así como otros campos que fueron evaluados con posterioridad al desarrollo de los modelos presentaron tanto las condiciones económicas adecuadas, como los requerimientos técnicos cumplidos o bien, con una buena base para mejorar e implementar el sistema de ordeño sin mayor inversión. De hecho, en ambos casos, el sólo ítem de adquisición de los equipos corresponde a más de un 80 por ciento de la inversión total en el proyecto, considerando valores del tipo "Puesto en la Puerta" (incluye costos de internación y despacho).

Dependiendo del sistema empleado, el manejo del rebaño debería verse alterado en algunos aspectos, especialmente en la alimentación y en el número de ordeños. No debe olvidarse que en salas tradicionales, la cantidad de concentrado dispensada es la misma para cada animal, haciendo caso omiso de la etapa de lactancia o el nivel de producción de la vaca. El número de ordeños también se diferencia dependiendo de los parámetros que el robot sondee y que posteriormente, el dueño o persona a cargo del rebaño evalúe y configure.

Se estima que, en el momento en que el primer proyecto comience a operar de forma exitosa, una cantidad mayor de productores irá cerrando negocios de adquisición de este tipo de maquinaria en la medida en que se vayan concretando las aspiraciones y metas de cada productor con su Sistema de Ordeño Automatizado. Las condiciones económicas que un agricultor lechero deben cumplir no son del todo exigentes, pues, tal como se especificó en el apartado de Flujos de Caja, un rebaño con unos 100 ejemplares podría ser eventualmente rentable. En concordancia con estudios realizados por organismos competentes en Chile, existen más de mil potenciales clientes robóticos (planteles con más de cien vacas).

Las consecuencias de una adopción generalizada de esta maquinaria podrían dar lugar a un cambio estructural en la industria lechera, con una menor tasa de incidencia en enfermedades, mayor longevidad en los rebaños y mayor consistencia en la calidad, y mayor margen por litro producido gracias a la importante reducción de costos operativos, los cambios podrían llegar a ser brutales. Puede que en el largo plazo, en busca de una mayor producción lechera, se migre desde el Pastoreo a Sistema Estabulado,

mermando el reinado de las vacas de talla menor y privilegiando el uso de razas de mayor peso y mejor reacción a suplementación extra de concentrado.

Otra posible consecuencia que puede vislumbrarse es un aumento en los reclamos a empresas de suministro eléctrico en los predios, quienes, al tener un sistema de ordeño automatizado, requieren de permanente abastecimiento energético, esto posibilitará la llegada y migración de la potencia trifásica a los predios que aún no la poseen.

El mercado de la Reposición del Rebaño es otra arista del cambio que tendría lugar si se adopta esta tecnología de forma masiva, con una mayor longevidad de los animales y una vida útil extendida, la tasa de reposición de los rebaños debería verse reducida, lo que desincentivará la crianza de animales por el reducido precio, propiciado por la sobre oferta de animales. Ahora bien, si se llegase a migrar a un Modelo Estabulado, el mercado de vaquillas de genética Holstein podría verse muy beneficiado al principio de la migración. Los rebaños comenzarían a reemplazar de forma paulatina la genética de los animales de su rebaño hasta alcanzar el número deseado.

La calidad de los productos derivados lácteos también se verá alterada, con la posibilidad de inclusive, ver surgir líneas de producto que se diferencien por la genética o parámetros utilizados en las salas de ordeña para su producción, pues el parámetro de la calidad lechera puede ser configurado sin problema y eficientemente gracias al Software de Gestión que incluye el paquete robótico. Desconocido es lo que sucedería con el precio de la leche pagado a productores chilenos.

Pese a que el robot y sus equipos conexos son capaces de automatizar buena parte de las tareas cotidianas en una explotación lechera, falacia es decir que absolutamente toda la gente que una lechería emplea quedaría sin empleo. Todo depende de las metas que el productor se plantee, si bien, existe la opción de lograr un alto nivel de automatización, cierto es también que se requiere de un nivel de inversión mucho mayor. Por ende, es de esperarse que el mercado laboral que revisten las salas de ordeño reduzca en un cierto nivel su demanda, pasando a requerir trabajadores con horario administrativo en vez de un régimen completo. Puede que otro de los efectos colaterales de la aplicación del modelo robótico sea una reducción en la demanda de tratamientos veterinarios, sin embargo, pese a que las enfermedades pueden ser diagnosticadas anticipadamente gracias a la información entregada por los sensores del robot, dichas enfermedades aún deben ser tratadas. Acerca de otros países de América Latina, pese a que holísticamente muestran promesa, solamente Brasil se configura como un nicho realmente fértil para la introducción del robot de ordeño, esto gracias a su gran número de vacas, el aporte lácteo, calidad del producto y su creciente y estable economía.

7.- Recomendaciones

En base a lo experimentado en este estudio, se recomienda que, para eventos, investigaciones e indagaciones posteriores, se ponga en tela de juicio la rentabilidad del negocio en condiciones más específicas y exigentes, realizando variaciones de genéticas (diferente aporte lácteo) en el rebaño, pues, dependiendo de la respuesta que tenga cada animal al concentrado, la explotación lechera robótica se podría volver más o menos rentable para un Sistema de Ordeño Automatizado. También agregando más dispositivos al sistema y analizando las consecuencias de su utilización en términos de bienestar animal y mejoramiento de la salud, a saber: Puertas Segregadoras, Dispensadores de Concentrado Extra, Empujadores de Purines y Carros Forrajeros Automatizados (estos últimos dos solamente en Sistemas Estabulados o Sistemas bajo Pastoreo estacionales, con patio invernal).

Las alteraciones en la reposición de los rebaños deberán ser evaluadas en el marco de tiempo correspondiente, pudiendo plantearse modelos más profundos considerando un grupo de control en Sala Tradicional y otro similar en una Sala Robótica y evaluar su comportamiento y vida útil en el tiempo mientras dichos sistemas prevalezcan. Esto también debería reflejar un impacto en el mercado de la reposición e inclusive, de la crianza y genética empleadas en Chile.

En el eventual caso que las salas robóticas se masifiquen en el territorio chileno, un tema de interés será el cambio en la regulación sanitaria, alimentaria y veterinaria que podría tener lugar e inclusive, valorar también los cambios e innovaciones que fabricantes de otros equipos planteen en base al nuevo modelo de lechería, como estanques enfriadores especiales para salas robóticas, por ejemplo. Evaluar, en su dimensión económica y agronómica, los posibles nuevos modelos que se comercialicen y que hagan gala de mejoras y nuevas metáforas de ordeño.

Entrevistas con dueños de salas robóticas exitosas también constituyen datos valiosos que podrían ser utilizados en beneficio del fabricante para mejorar los diseños de los equipos o bien, para mejorar los programas de gestión y manejo del predio.

8.- Bibliografía

De Konig, K y Rodenburg, J. 2004. Automatic Milking: State of Art in Europe and North America. Applied Research, Animal Sciences Group.

Lyons, N. A., Kerrisk, K. L., y García, S. C. 2013. Comparison of 2 systems of pasture allocation on milking intervals and total milk yield of dairy cows in a pasture-based automatic milking system. American Dairy Science Association 96(7): 4494 – 4504

Hogeveen, H et al. Motivations of Dutch farmers to invest in an Automatic Milking System or a conventional milking parlour. 2004, Utrecht University, Países Bajos.

De-Ketelaar, C.C et al. 1999. Effect of sward height and distance between pasture and barn on cows' visits to an automatic milking system and other behaviour. Livestock Production Science 65: 131 – 141.

Spönrndly, E. y Wrelde, E. 2004. Automatic Milking and Grazing – Effects of distance to pasture and level of supplements on milk yield and cow behavior. American Dairy Science Association 87: 1702 – 1712.

Jago, J. y Kerrisk, K. 2011. Training methods for introducing cows to a pasture-based automatic milking system. Applied Animal Behaviour Science 131(2011): 79 – 85.

Laurs, A., Juris, P., Valdis, Z., Ansis, S. 2008. Milking Frequency in milking robots with feed first cow traffic. Engineering for Rural Development 29(2008): 275 – 278.

O'Driscoll, K. et al. 2009. Milking Frequency and nutritional level affect grazing behaviour of dairy cows: A case study. Applied Animal Behaviour Science 122 (2010): 77 – 83.

The First North American Conference on Precision Dairy Management: Automatic Milking – Common Practice on Dairy Farms: 2010. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, Países Bajos.

Steenefeld, W. et al. 2010. Discriminating between true-positive and false-positive clinical mastitis alerts from automatic milking systems. American Dairy Science Association 93(6): 2559 – 2568

Jacobs, J. A. y Siegford, J. M. 2012. Lactating dairy cows adapt quickly to being milked by an automatic milking system. American Dairy Science Association 95(3): 1575 – 1584.

Elischer, M. F. et al. 2013. Validating the accuracy of activity and rumination monitor data from dairy cows housed in a pasture-based automatic milking system. American Dairy Science Association 96 (10): 1 – 11.

Halamchi, I., Metz, J.H.M., et al. 2000. Designing the optimal robotic barn. Part 1: quantifying facility usage. Journal of Agricultural Engineering Research 76: 37-49

Halamchi, I, Adan, I.J.B.F, et al. 2000. The design of robotic dairy barns using closed queueing networks. European Journal of Operation Research 124(3): 437-446.

[Fuente no Publicada] Manual de Producto Lely Astronaut A4. Lely Industries International, Países Bajos. 2012.

[Fuente no Publicada] Farm Management Support Manual. Lely Industries International, Países Bajos, 2011.

Soerensen, J.T., Hindhede, J, et al. (2002). Assesing Animal Welfare in a Dairy Cattle Herd with an Automatic Milking System. The First American Conference on Robot Milking. Toronto, Canada, Department of Animal Health and Welfare, Danish Institute of Agricultural Science: 5 VI-54 – VI-59.

Jacobs, J. A. et al. 2012. Dairy cow behavior affects the availability of an automatic milking system. American Dairy Science Association 95(4): 2186 – 2194.

Steenenveld, W. Et al. 2012 Comparing technical efficiency of farms with an automatic milking system and a conventional milking system. American dairy Science Association 95(12): 7391 – 7398.

André, G., Berentsen, P.B.M., et al (2009) Quantifying individual variation in milk yield response to concentrate intake of dairy cows during early lactation and assessment of the economic potential. Animal Feed Science and Technology.

Olivares, M. E., Moreira, V. H., Muñoz, C. E. 2012. Estudio: Identificación de factores relevantes para el crecimiento del rebaño lechero nacional. Consorcio Lechero Chileno.

Agrosur Gesta. 2012. Informe Estudio Caracterización de los productores lecheros, usando bases de datos disponibles.

Sánchez, C. et al. 2012. La Lechería Argentina: Estado actual y su evolución. Asociación Argentina de Economía Agraria.

Tranel, L. F., et al. 2013. Low Cost Milking Parlors – Producer Surveys. Animal Industry Report.

[Fuente no publicada] Lely Center Brasil. Base de datos de planteles animales para zonas de producción láctea en Brasil, 2013.

López Tapia, Ivonne et al. 2013. Industria Láctea: Avance de Recepción y Producción, Septiembre. ODEPA.

Pérez, René et al. 2012. Acta de Consejo Nacional de Calidad de la Leche y Prevención de la Mastitis. Federación Colombiana de Ganaderos.

Sapag C., Nassir 2007. Proyectos de Inversión, Evaluación y Formulación. Pearson Prentice Hall 488p.

Fontaine E. 2008. Evaluación Social de Proyectos. Pearson Prentice Hall 648p.

9.- Linkografía

Milk Production.com, Automatic Milking – Common Practice on Dairy Farms [en línea] <<http://www.milkproduction.com/Library/Scientific-articles/Milk--milking/Automatic-milking--Common-practice-on-dairy-farms/>> [consulta: 21 de Diciembre, 2013]

Index mundi.com, indicadores del PIB per cápita para Chile [en línea] <<http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=67&c=ci&c=nz&l=es>> [consulta: 7 de Septiembre, 2013]

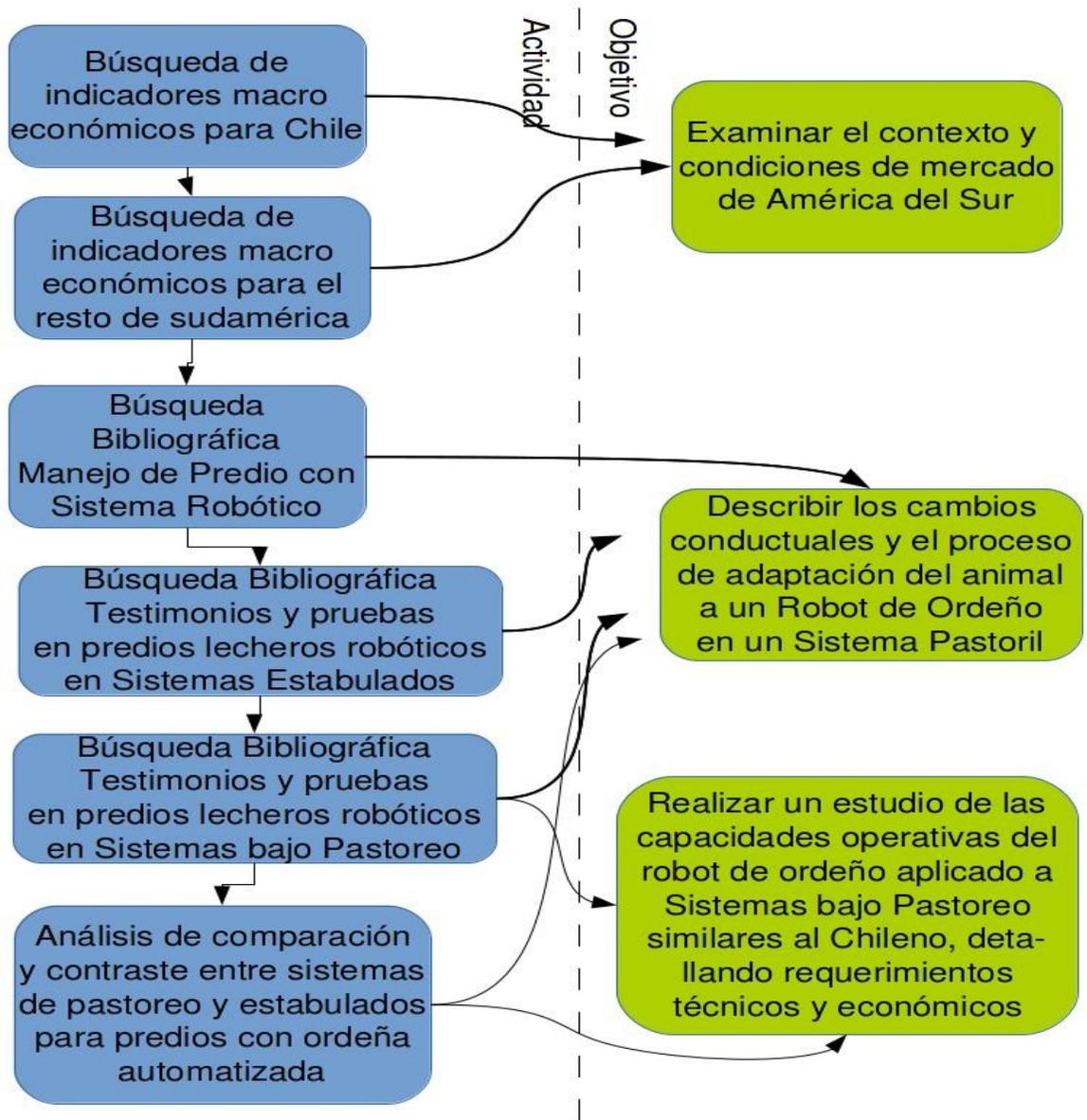
Index mundi.com, indicador del PIB per cápita para Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú <<http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=65&c=ar&c=br&c=ci&c=co&c=pe&l=es>> [en línea] [consulta: 7 de Septiembre, 2013]

Index mundi.com, Indicador del Producto Interno Bruto Per Cápita para Chile y Nueva Zelanda [en línea] <<http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=67&c=ci&c=nz&l=es>> [consulta: 7 de Septiembre, 2013]

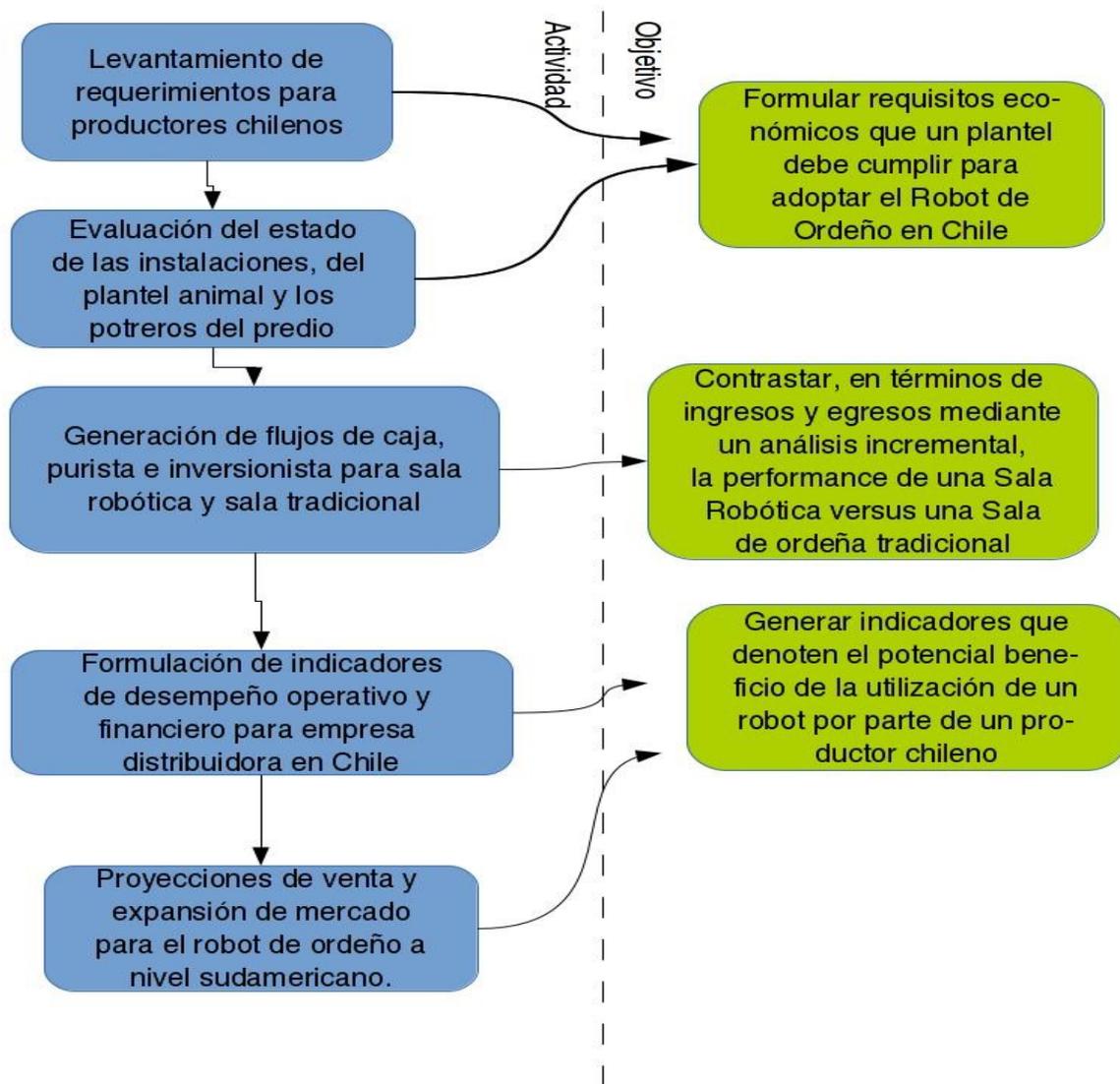
Lely Industries, Sitio Oficial, ejemplos de grandes lecherías robóticas [en línea] <http://www.lely.com/en/milking/large-dairy-farms/large-farms_0> [consulta: 4 de Septiembre, 2013]

Perú Láctea, Sitio Oficial, Asociación de Industriales Lácteos pide Incrementar el Número de Vacas Lecheras en el País [en línea] <<http://www.perulactea.com/2006/02/08/adil-pide-incrementar-el-numero-de-vacas-lecheras-en-el-pais/>> [consulta: 10 de Noviembre, 2013]

10.- Anexos



Anexo A: Mapa mental utilizado para Diseño Metodológico (Parte 1)
Fuente: Elaboración Propia



Anexo B: Mapa mental utilizado para Diseño Metodológico (Parte 2)
 Fuente: Elaboración Propia